



Departamento de Engenharia Mecânica

## **Tecnologia micro hídrica pluvial**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em  
Engenharia Mecânica

**Autor**

**Yves Clement Bindzi Fouda**

**Orientadores**

**Prof. Doutor João Carlos Antunes Ferreira Mendes**

**Prof. Doutor Avelino Virgílio Fernandes Monteiro de Oliveira**

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

**Coimbra, Janeiro, 2017**



## **Agradecimentos**

-A divina providência.

-As minhas filha, Madalena Isabel Martins Bindzi e Ana Lúcia Martins Bindzi cuja existência me deu a força de avançar neste trabalho.

-Aos Professores Doutores e orientadores deste projeto, João Carlos Antunes Ferreira Mendes e Avelino Virgílio Fernandes Monteiro de Oliveira, que com prontidão aceitaram de acompanhar-me nesta etapa académica.

- A Jorge Martins e Helena Caldeira

-A todos aqueles que de perto ou de longe apoiaram-me de qualquer forma ao longo de meu percurso académico.



## Resumo

O problema da energia tem impacto em toda atividade do ser humano, no seu bem-estar e, globalmente, no desenvolvimento económico, industrial e social. O crescimento exponencial da demografia veio acentuar a importância desta temática já que os meios tradicionalmente usados na produção da energia acabaram por colocar a humanidade em perigo, nomeadamente através do fenómeno do aquecimento global que é uma das consequências da exploração das fontes de energia fósseis emissoras de CO<sub>2</sub>.

O alarme iniciou-se com o Protocolo de Montreal, um tratado internacional em que os países signatários se comprometeram a substituir a utilização de substâncias que empobrecem a camada de ozono. Posteriormente, com o Protocolo de Quioto, tratado internacional visando a obtenção de compromissos mais rígidos com vista à redução da emissão dos gases que agravam o efeito de estufa, a preocupação acentuou-se.

Por outro lado, os problemas associados à dependência e à instabilidade nos países onde a maioria dos recursos energéticos está concentrada, são factos que, somados aos primeiros enunciados, obrigaram as autoridades mundiais a tomar medidas, tendo em mente termos de referência como *sustentabilidade*, *energia verde* ou *eficiência energética*.

Dependendo da região geográfica, do País, ou mesmo da comunidade, as políticas energéticas e as metas a atingir têm vindo a ser elaboradas. Na Europa, a Diretiva 2009/28/CE do Parlamento Europeu e do Conselho Europeu de 23 Abril, relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis foi determinante.

Este trabalho enquadra-se nesta política de uso, valorização e promoção das energias verdes. Promove-se a utilização do recurso chuva como fonte de energia renovável recorrendo a micro-turbinas para produção de energia elétrica nos prédios e nas vias de comunicação.

**Palavras-chave:** Microturbina; Energias renováveis; Micro hídrica pluvial; Energia elétrica; Vias de Comunicação; Prédio.



## **Abstract**

The energy problem has an impact on all human activity, in their well-being and overall, the economic, industrial and social development. The exponential growth of demography underscored the importance of this issue as the means traditionally used in energy production eventually put humanity at risk, including through the global warming phenomenon which is one of the consequences of the exploitation of fossil fuels stations CO<sub>2</sub>.

The alarm began with the Montreal Protocol, an international treaty to which signatory countries have pledged to replace the use of substances that deplete the ozone layer. Subsequently, the Kyoto Protocol, an international treaty aimed at obtaining more rigid commitments to reduce the greenhouse gases that aggravate the greenhouse effect.

On the other hand, the problems associated with dependence and instability in the countries where most of the energy resources are concentrated, are facts which, added to the first set out, forced the international authorities to take action, bearing in mind the terms of reference as sustainability, energy green or energy efficiency.

Depending on the geographic region, the country, or even the community, energy policies and goals to be achieved have been prepared. In Europe, Directive 2009/28 / EC of the European Parliament and the European Council on April 23 on the promotion of the use of energy from renewable sources was decisive.

This work is part of this use policy, development and promotion of green energy.

It promotes the use of rain resource as a source of renewable energy using micro turbines to produce electricity in the buildings and the roads.

**Keywords:** microturbine; Renewable energy; Micro rain water; Electricity; Communication ways; Building.





## Índice

<b>Agradecimentos .....</b>	<b>iii</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>v</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>vii</b>
<b>Índice de Figuras .....</b>	<b>xii</b>
<b>Índice de Quadros.....</b>	<b>xv</b>
<b>Simbologia .....</b>	<b>xvii</b>
<b>Abreviaturas .....</b>	<b>xxi</b>
<b>Capítulo 1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1.Enquadramento .....	1
1.2.Necessidade da Presente Investigação.....	1
1.3.Objetivos e Metodologia .....	2
1.3.1.Principais objetivos .....	2
1.3.2.Metodologia.....	2
1.4.Organização do Trabalho.....	3
<b>Capítulo 2.Formas de Produção da Eletricidade.....</b>	<b>5</b>
2.1.Introdução .....	5
2.2.Fontes de energia .....	8
2.3.Tecnologias da produção de eletricidade a partir das energias renováveis .....	9
2.3.1.Energia Eólica.....	9
2.3.2.Energia Solar .....	10
2.3.3.Energia dos Oceanos .....	15
2.3.4.Biomassa.....	15
2.3.5.Energia Hidráulica.....	16
2.3.6.Energia Geotérmica .....	18
2.2.7.Células de Combustível.....	21

---

<b>Capítulo 3. Água da chuva .....</b>	<b>25</b>
3.1 Introdução .....	25
3.2. O recurso água da chuva .....	26
3.3. Pluviometria em Portugal.....	29
3.4.Mapas de precipitações .....	30
3.5.Coefficiente de escoamento.....	31
3.6.Curvas IDF (Intensidade-Duração-Frequência de precipitação) .....	33
<b>Capítulo 4.Tecnologia Hidráulica.....</b>	<b>37</b>
4.1.Turbinas hidráulicas .....	37
4.2. Tecnologia Micro-Hídrica Pluvial .....	42
4.3.Válvula de energia potencial.....	55
4.4.Infraestruturas de captação da água de chuva .....	59
4.4.1.Infraestrutura Prediais .....	59
4.4.2.Infraestruturas de comunicação .....	62
4.5. Gerador elétrico-Alternador síncrono .....	65
<b>Capítulo 5.Caso de estudo .....</b>	<b>70</b>
5.1. Caso do prédio .....	70
5.2.Caso via de comunicação .....	76
5.3. Análise energética .....	82
5.4.Estudo económico-financeiro .....	83
<b>Capítulo 6. Conclusão.....</b>	<b>91</b>
Referências bibliográficas.....	93
<b>Anexos .....</b>	<b>99</b>
Anexo I:Algumas marcas Micro-turbina .....	101
I-A-Micro turbina TG-POWER .....	101
I-B-Micro-turbina TH-640.....	102
I-C-Micro-turbina Pelton .....	102
Anexo II: Contato da válvula piezoelétrica.....	103
II-A-Contato da válvula piezoelétrica em trabalho.....	103
II-B-Contato Válvula piezoelétrica em repouso .....	104

---

---

Anexo III: Válvula piezoelétrica .....	105
III-A-Válvula piezoelétrica em trabalho.....	105
III-B-Válvula piezoelétrica em repouso .....	106
Anexo IV: Constantes de materiais piezoelétricos mais utilizados .....	107
Anexo V: Sistemas de acoplamento da micro hídrica com outros renováveis.....	108
Sistema 1: instalação mista Solar fotovoltaica- Mini eólica-Micro hídrica pluvial .....	108
Sistema 2: Instalação mista Mini eólica-Micro hídrica pluvial .....	108
Sistema 3: Instalação mista solar fotovoltaico-Micro hídrica pluvial .....	109
Anexo VI: Cesto de retenção para sistema em via de comunicação .....	110
Anexo VII: Repartição das precipitações em certas zonas do Portugal continental .....	111
Anexo VIII: Diagrama dos dias sem chuva em Portugal .....	111
Anexo IX .....	112
IX-A-Sarja sem depressão .....	112
IX-B-Sarjeta com depressão .....	112
IX-C-Sumidouro sem depressão.....	112
IX-D-Sumidouro com depressão .....	112

## Índice de Figuras

Figura 2. 1. Produção de eletricidade por fricção .....	5
Figura 2. 2. Montagem experimental da experiência de SEEBECK .....	6
Figura 2. 3. Efeito foto elétrico .....	6
Figura 2. 4. Efeito piezoelétrico direito .....	7
Figura 2. 5. Efeito piezoelétrico inverso .....	7
Figura 2. 6. Gerador eletroquímico .....	7
Figura 2. 7. Gerador elétrico .....	8
Figura 2. 8. Princípio de produção da energia elétrica.....	8
Figura 2. 9. Eólica e aeromotor.....	10
Figura 2. 10. Ilustração efeito fotoelétrico .....	11
Figura 2. 11. Principais tipos de células fotovoltaico .....	12
Figura 2. 12. Sistema autónomo.....	14
Figura 2. 13. Esquematização de um sistema fotovoltaico ligado a rede .....	14
Figura 2. 14. Diagrama das etapas da produção de eletricidade a partir da biomassa .....	16
Figura 2. 15. Esquematização da produção hidroelétrica .....	17
Figura 2. 16. Produção da eletricidade geotérmica por ciclo binário .....	20
Figura 2. 17. Produção da eletricidade geotérmica por ciclo convencional-vapor seco .....	20
Figura 2. 18. Produção da eletricidade geotérmica por ciclo convencional-Flash vapor .....	21
Figura 2. 19. Esquema de princípio da pilha de combustível .....	22
Figura 2. 20. Segunda etapa de produção elétrica numa pilha de combustível .....	22
Figura 2. 21. 3ª etapa da produção elétrica numa pilha de combustível .....	23
Figura 2. 22. Última etapa da produção elétrica numa pilha de combustível .....	23
Figura 3. 1. Fenómeno da chuva Orográfica.....	27
Figura 3. 2. Fenómeno da chuva convectiva.....	27
Figura 3. 3. Fenómeno da chuva frontal. ....	28

---

Figura 3. 4. Ciclo da água ou ciclo hidrológico .....	28
Figura 3. 5. Pluviómetro .....	29
Figura 3. 6. Pluviógrafo tipo Hellmann-Fuess .....	30
Figura 3. 7. Pluviograma .....	30
Figura 3. 8. Mapa de precipitação do Portugal continental .....	31
Figura 3. 9. Diagrama de pluviometria do Portugal .....	31
Figura 3. 10. Regiões pluviométricas .....	35
Figura 4. 1. Ilustração funcionamento turbina Pelton de eixo horizontal.....	37
Figura 4. 2. Princípio de funcionamento turbina Turgo .....	38
Figura 4. 3. Princípio de funcionamento turbina Francis de eixo vertical.....	38
Figura 4. 4. Ilustração do princípio de funcionamento da turbina Kaplan .....	39
Figura 4. 5. Curva de rendimento das turbinas.....	40
Figura 4. 6. Esquema de aproveitamento hidráulico .....	40
Figura 4. 7. Esquematisação do micro hídrica pluvial .....	42
Figura 4. 8. Filtro de 3P Rainus.....	43
Figura 4. 9. Válvula de energia potencial ligada a micro-turbina A: válvula fechada, B: válvula aberta.....	44
Figura 4. 10. Tubo de fluxo associado ao efeito Venturi .....	46
Figura 4. 11. Ilustração do sistema paralelo em prédio .....	47
Figura 4. 12. Ilustração do sistema serie predial .....	48
Figura 4. 13. Ilustração do sistema misto predial .....	48
Figura 4. 14. Ilustração do sistema coluna múltipla predial .....	49
Figura 4. 15. Ilustração do sistema predial coluna venturi.....	49
Figura 4. 16. A: Contato piezoelétrico em repouso, B: em trabalho .....	50
Figura 4. 17. Ilustração do funcionamento da válvula piezoelétrica: Em A, a válvula encontra se fechada. Em B, a válvula encontra se aberta.....	51
Figura 4. 18. Instalação da micro-turbina em sumidouro com cesto de retenção .....	54

---

---

Figura 4. 19. Instalação da micro-turbina em sarjeta com cesto de retenção .....	54
Figura 4. 20. Corpo da válvula de energia potencial .....	56
Figura 4. 21. Funil da válvula .....	56
Figura 4. 22. Êmbolo da válvula .....	57
Figura 4. 23. Tampa da válvula.....	58
Figura 4. 24. Estado da válvula.....	59
Figura 4. 25. Esquematização de um sistema típico de drenagem gravítica da água .....	60
Figura 4. 26. Ilustração de algumas áreas de captação.....	61
Figura 4. 27. Princípio de recolha e escoamento da água numa estrada.....	63
Figura 4. 28. Esquematização dos órgãos de recolha longitudinal: a-sumidouro; b-Sarjeta ...	64
Figura 4. 29. Esquema de um gerador elétrico .....	65
Figura 4. 30. Ilustração funcionamento alternador em monofásico com criação da força eletromotriz $e(t)$ .....	66
Figura 4. 31. Tipos de rotor: a-Cilíndrico; b-Salientes .....	67
Figura 5. 1. Etapas para prédios existentes .....	72
Figura 5. 2. Etapas para prédios novos .....	73
Figura 5. 3. Sistema anti transbordamento.....	74
Figura 5. 4. Esquema elétrico de ligação válvula selenoide-Pressostato .....	75
Figura 5. 5. Período de retorno de investimento de um sistema autoconsumo.....	87
Figura 5. 6. Período de retorno de investimento de um sistema Ligado a RESP .....	87
Figura 5. 7. Evolução do preço da eletricidade.....	88
Figura 5. 8. Evolução dos preços da eletricidade e do regime bonificado.....	89
Figura 5. 9. Evolução dos custos de um sistema fotovoltaico .....	90

---

## Índice de Quadros

Quadro 2. 1. Diferentes fontes de energia convencionais .....	8
Quadro 2. 2. Fontes de energias renováveis .....	9
Quadro 2. 3. Rendemento elétrico de varios tipos de células fotovoltaicas .....	12
Quadro 2. 4. Tipo de painel e aplicação .....	13
Quadro 2. 5. Classificação das centrais em relação a potência .....	17
Quadro 2. 6. Classificação das centrais mini-hídrica em relação a altura de queda.....	17
Quadro 2. 7. Tipos de pilhas de combustível .....	21
Quadro 3. 1. Valores dos coeficientes de escoamento para diversas zonas .....	32
Quadro 3. 2. Valores dos parâmetros a e b em relação a região e período de retorno .....	33
Quadro 3. 3. Utilização do período consoante ocupação .....	34
Quadro 3. 4. Valores da intensidade pluviométrica média máxima (mm/h) numa chuvada de duração de 5 minutos numa região dada .....	34
Quadro 4. 1. Critérios de escolha de uma turbina .....	39
Quadro 4. 2. Curvas características das principais turbinas .....	39
Quadro 4. 3. Cálculo de algumas áreas de telhados .....	61
Quadro 4. 4. Largura das bermas pavimentadas.....	64
Quadro 4. 5. Período de retorno mínimos em obras de drenagem longitudinal .....	65
Quadro 4. 6. Velocidades relacionadas com número de pólos e frequência .....	68
Quadro 5. 1. Orçamento sistema autoconsumo .....	84
Quadro 5. 2. Orçamento sistema ligado a RESP .....	84
Quadro 5. 3. Vida útil .....	85
Quadro 5. 4. Tarifário da eletricidade.....	85
Quadro 5. 5. Custos operacionais .....	86
Quadro 5. 6. Receitas e despesas.....	86

---

Quadro 5. 7. Custo total do sistema ao longo de sua vida útil .....	86
Quadro 5. 8. Queda dos preços regime bonificado de 2007 .....	89



---

## Simbologia

a – parâmetro de ajustamento  
 $A_r$  – Área de contribuição para escoamento na projeção horizontal  
atm – atmosférico  
 $A$  – Área da bacia hidrográfica  
 $A_{st}$  – Área da secção transversal  
b – parâmetro de ajustamento  
B – largura do sumidouro  
 $C_i$  – coeficiente de escoamento da área i  
C – coeficiente de escoamento  
 $CO_2$  – Dioxido de carbono  
°C – Grau Celcius  
 $C_m$  – coeficiente de escoamento medio ponderado  
 $C_f$  – Coeficiente de ajustamento  
d – Distancia entre a primeira abertura de grade e o passao  
 $D_m$  – diametro medio  
D – diametro da conduta  
 $E_p$  – Energia potencial  
 $E(t)$  – força eletromotriz  
 $f$  – Frequencia da rede  
F – Numero de Froude do escoamento na depressão  
g – aceleração da gravidade  
h – Hora  
 $H_u$  – Queda útil  
H – Carga no tubo de queda  
 $h_a$  – Altura  
 $h_{fL}$  – Perda de carga localizada ou singular [m]  
 $h_{fC}$  – Perda de carga continua [m]  
 $h_{fT}$  – Perdas de carga Totais  
I – intensidade média de precipitação  
J – Declive do trecho que contribui para o escoamento  
 $k_W$  – Fator de Wahl  
kW – kilo Watt  
 $Km^2$  – quilometro quadrado  
k – Constante empírica que é função da inclinação transversal do arruamento  
 $k_p$ : coeficiente de Kapp  
 $L_0$  – Comprimento livre da mola  
L – Extensão do percurso do escoamento  
 $L_0$  – Comprimento útil do sumidouro

---

$L'$	— comprimento do valor critico
$L_a$	— Comprimento ativo do arame
MW	— mega Watt
m	— Metro
mm	— Milímetro
$m_e$	— Constante empírica, depende do número de barras transversais do sumidouro
N	— velocidade de rotação
$N_{Max}$	— Velocidade máxima de rotação
$\eta_t$	— Rendimento
$N_{Es}$	— Velocidade especifica
$N_{pp}$	— Número de pares de polos
n	— Coeficiente de rugosidade de Manning
$P_u$	— Precipitação útil
$P_{bh}$	— Precipitação total sobre uma dada bacia hidrográfica
P	— Probabilidade do evento ser igualado ou superado
$P_1$	— importância da via
$P_2$	— Danos na via
$P_3$	— Danos a terceiros
$P_q$	— Potência de queda
$P_t$	— Potência Teórica
$p_{ji}$	— perdas por efeito joule no indutor
$p_{jIn}$	— perdas por efeito joule no induzido
$p_{jIn.m}$	— perdas por efeito joule no induzido em monofisico
$p_{jIn.t}$	— perdas por efeito Joule no indizido em trifasico
$Q_c$	— caudal infraestrutura predial
$Q_p$	— Caudal de ponta de cheia
$Q_{Tq}$	— Caudal tube de queda
q	— Calor
Q	— Caudal escoado
$q_1$	— Escoamento entre o primeiro abertura do grade e o passaiço
$q_2$	— Escoamento exterior a grade, pelo arruamento
$q_3$	— Escoamento sobre a propria grade que prossegue para jusante
r	— distância ao eixo
s	— segundo
$S_1$ e $S_2$	— seções de entrada e de saída
$S_i$	— Superfície da área i
T	— Temperatura/período de retorno
t	— duração da precipitação considerada
$t_p$	— Duração da precipitação
$T_R$	— período de retorno
U	— Tensão aos terminais

---

---

$V_0$  – Velocidade média do escoamento a altura de escoamento  $y_0$

$V$  – Volt

$V_1$  e  $V_2$  – velocidades na entrada e na saída

$W$  – Watt

$w$  – trabalho

$\omega$  – Pulsção da f. e. m sinusoidal induzida

$y_0$  – altura uniforme do escoamento, a montante de sarjeta

$y$  – altura do escoamento na extremidade de montante da sarjeta

$Z$  – Altura em relação a um referencial

$\rho$  – Massa volumica

$\gamma$  – Peso específico

$\theta$  – Angulo entre o plano do pavimento e o lancil de passeio

$\Omega$  – velocidade de rotação do rotor

$\Delta t$  – acréscimo do tempo de percurso

$\Delta P$  – altura de precipitação ocorrida nesse intervalo de tempo

% – percentagem



**Abreviaturas**

AC – Corrente Alternada  
AF – Alkaline Fuel Cell  
CAO – Coluna de água oscilante  
CE – Comissão Europeia  
CA – Corrente alterna  
DC – Corrente Continua  
DGRN – Direção Geral dos Recursos Naturais  
ISEC – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra  
INIR – Instituto de Infraestruturas Rodoviárias IP  
IDF – Intensidade – Duração – Frequência de precipitação  
IEP – Instituto das estradas de Portugal  
IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera  
MCFC – Molten Carbonate Fuel Cell  
MPP – Maximum Power Point  
PEM – Proton Exchange Membrane  
PAFC – Phosphoric Acid Fuel Cell  
PVC – Policloreto de vinilo  
RESP – Rede Elétrica de Serviço Público  
PEAD – Polietileno de alta densidade  
SWR – Sun Wind Rain  
SOFC – Solid Oxid Fuel Cell  
SR – Sun Rain  
TMDA – Trafego Medio Dário Anual  
TMD – Trafego Medio Diário  
VEP – Válvula de Energia Potencial  
WR – Wind Rain



## **Capítulo 1. Introdução**

### **1.1. Enquadramento**

O ciclo de estudos conducente ao grau de mestre em Engenharia Mecânica, ministrado no Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, divide-se nas áreas de especialização de “Construção e Manutenção de Equipamentos Mecânicos” e “Projeto, Instalação e Manutenção de Sistemas Térmicos”, encontrando-se organizado em dois anos letivos, correspondentes a um total de 120 créditos ECTS.

O primeiro ano consiste num curso de especialização integrando dez unidades curriculares, lecionadas em dois semestres letivos, que correspondem a 60 créditos.

O segundo ano é integralmente destinado à execução de um projeto original, especialmente elaborado para este fim, ou à realização de um estágio de natureza profissional com relatório final, que corresponde também a 60 créditos.

O presente trabalho enquadra-se na vertente de um projeto original na área da produção de energia elétrica em micro-turbinas a partir das águas pluviais.

### **1.2. Necessidade da Presente Investigação**

Os problemas ambientais, como o aquecimento global e o efeito de estufa exigem novas diretivas, para garantir a sustentabilidade do planeta. Uma das soluções passa pela redução/substituição da utilização das energias fósseis em energias renováveis.

As necessidades energéticas fortemente ligadas à demografia e ao desenvolvimento tecnológico são cada vez maiores, tornando-se imprescindível a exploração de várias fontes energéticas para responder àquelas necessidades.

O bem-estar proporcionado pelo uso generalizado da energia elétrica tem impulsionado o seu consumo, obrigando à utilização crescente de recursos energéticos, com consequências negativas para o ambiente. Assim, e entre as várias fontes de energia alternativas ou renováveis, destacam-se a energia solar, a energia eólica, a energia geotérmica, a energia das marés e a energia hídrica.

Uma parte da água da chuva que cai na superfície terrestre evapora-se, outra parte infiltra-se no solo e a restante escorre pela superfície dirigindo-se para rios, mares e oceanos. É sobre a terceira opção que nos iremos debruçar, pois tanto a forma como o local da sua recolha originam diferentes formas de utilização da energia hídrica, que pode ser dividida em duas

categorias: a 1ª cuja produção é superior a 10 MW e a 2ª quando a produção é inferior a 10 MW, as designadas mini-hídricas.

Se dividimos o aproveitamento das precipitações em dois níveis, o primeiro a montante e o segundo a jusante, podemos então colocar as duas categorias acima referidas no segundo nível.

O nível considerado a montante consiste no domínio que gostaríamos de explorar e ao qual iremos atribuir a denominação de *micro-hídrica pluvial*.

O crescimento demográfico é acompanhado de um desempenho crescente em diversos sectores: civil, indústria, saúde, agroalimentar, tecnologia, energia, etc., impondo inúmeros desafios ao ser humano na procura de soluções sustentáveis. Por vezes as soluções criam, elas próprias, outros problemas: as áreas verdes são cada vez mais reduzidas sendo o espaço ocupado por zonas comerciais, zonas residenciais, zonas industriais e vias de comunicação, entre outras. Estas infraestruturas podem tornar-se instrumentos de recolha da água pluvial e, por conseguinte, de armazenamento de energia. O objetivo do presente estudo incide precisamente neste domínio e consiste no desenvolvimento de uma solução que visa o aproveitamento desta energia através da tecnologia micro-hídrica pluvial.

### **1.3.Objetivos e Metodologia**

#### **1.3.1.Principais objetivos**

Os objetivos deste trabalho são:

- Enquadramento na política energética com promoção das energias renováveis
- Promoção de um novo conceito “micro hídrico pluvial”
- Valorização da vertente energética da água de chuva
- Aproveitamento das infraestruturas existentes (prédios, estradas)
- Aprofundar os conhecimentos transmitidos na presente formação académica dotando o aluno de meios que lhe irão permitir concretizar novas ideias e novos projetos no futuro.

#### **1.3.2.Metodologia**

A metodologia assentou na observação dos sistemas de recolha de água da chuva nos prédios e nas infraestruturas de comunicação, no estudo dos componentes que integram estes sistemas de recolha, no cálculo dos volumes e dos caudais de água, técnicas de maior aproveitamento



da energia proveniente da água de chuva, consulta dos mapas udométricos, elaboração da tecnologia micro-hídrica nos prédios e nas vias de comunicações.

São apresentados dois casos de estudo, um realizado num prédio e outro numa estrada.

Apresentam-se ainda os tipos de micro-turbina adaptáveis a estas instalações.

#### **1.4. Organização do Trabalho**

O trabalho está organizado em 6 capítulos. No capítulo de “Introdução” é feito o enquadramento do trabalho, a necessidade da presente investigação, os objetivos a atingir e a metodologia utilizada.

No segundo capítulo abordam-se as diferentes formas de produção de energia elétrica referindo-se, ainda que de forma sucinta, o tema da produção de energia elétrica através de fontes renováveis.

No terceiro capítulo explora-se o recurso água da chuva.

No quarto capítulo referem-se as tecnologias associadas à utilização da energia hidráulica.

No quinto capítulo estudam-se casos concretos de aplicação da tecnologia micro-hídrica pluvial num prédio e numa via de comunicação, abordam-se os aspetos energéticos e concretiza-se um estudo financeiro.

No capítulo seis apresenta-se uma síntese do trabalho e as principais conclusões. Indicam-se ainda as tarefas a desenvolver com vista ao prosseguimento do presente trabalho.



## Capítulo 2. Formas de Produção da Eletricidade

### 2.1. Introdução

A eletricidade pode ser definida como sendo um fenómeno eletromagnético criado pela interação das partículas presentes na matéria de carga positiva ou negativa e cujos efeitos podem ser usados para criar energia.

Existem vários meios de produção da eletricidade, todos de natureza a provocar desequilíbrio elétrico nos átomos, destacando-se:

**a) A fricção** que ocorre quando dois corpos de natureza diferente adquirem cargas ao serem friccionados, adquirindo respetivamente carga positiva e negativa.

Como exemplo da fricção, temos uma caneta (ou bastão plástico) quando friccionada sobre a roupa é capaz de atrair pequenos pedaços de papel. Este fenómeno é devido ao facto de que as cargas elétricas opostas se atraem, e cargas iguais se repelem. Nesse caso, os pedaços de papel possuem carga neutra, fazendo com que sejam atraídos pela caneta que adquiriu carga negativa.

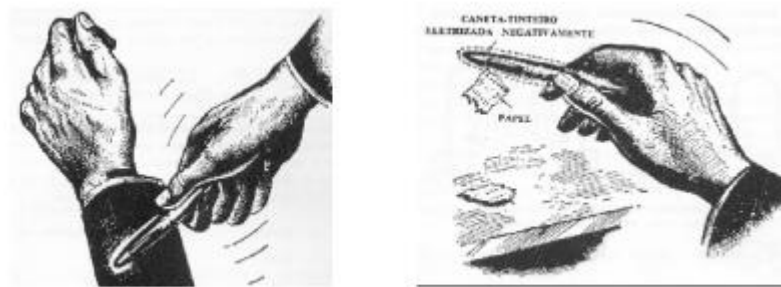


Figura 2. 1. Produção de eletricidade por fricção (adaptado de <http://www.simonsen.br>)

**b) A Termoeletricidade** que consiste a transformar qualquer fonte de calor em eletricidade, descoberta pelos físicos Peltier e Sheebek. (vd. Figura 2.2).

Quando dois metais diferentes são soldados, em que uma face está sujeita ao frio e outra ao calor, a diferença de temperatura entre as duas faces cria uma diferença de potencial entre os dois metais criando a produção da eletricidade.

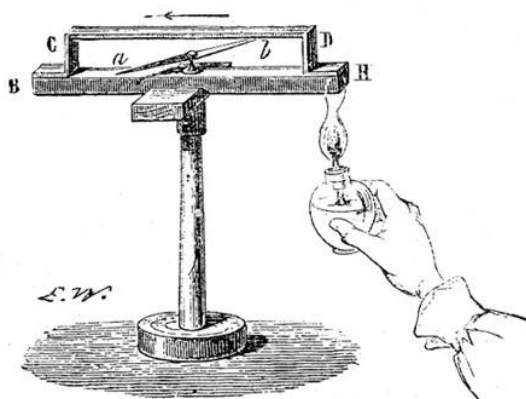


Figura 2. 2. Montagem experimental da experiência de SEEBECK (adaptado de <http://energiein.emonsite.com>, 2015)

**c) Fotoeletricidade:** Quando a luz incide em determinadas substâncias provoca uma emissão de elétrons, o que evidentemente resulta numa carga elétrica.

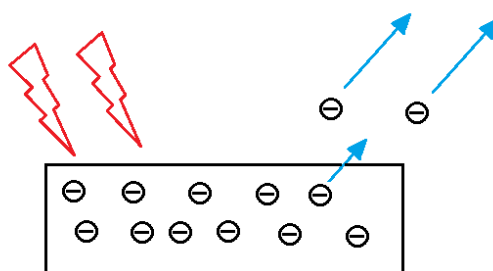


Figura 2. 3. Efeito fotoelétrico (adaptado de Bindzi, 2016)

**d) Piezoeletricidade:**

**1. Piezoeletricidade direta:** Certos cristais ficam com seus átomos ionizados quando são submetidos a pressão mecânica. Ex.: Microfone de cristal que transforma sinais sonoros em sinais elétricos. (vd. Figura 2.4).

**2. Piezoeletricidade inversa:** Quando se aplica uma tensão elétrica em certos cristais, estes deformam-se. Podemos citar principalmente: Quartzo, Topázio, Turmalina, Bernilite. (vd. Figura 2.5).

**e) Geradores eletroquímicos:** Alguns dispositivos podem criar cargas elétricas por meio de reações químicas entre diferentes substâncias. Isso pode ser conseguido através de duas placas de metal (elétrodos) inseridas numa solução química (eletrólito). (vd. Figura 2.6).

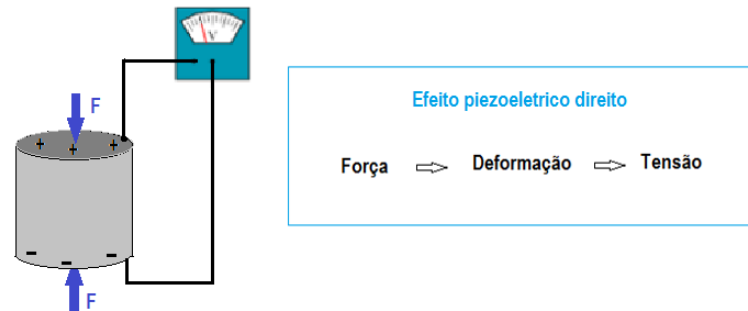


Figura 2. 4. Efeito piezoelétrico direto (adaptado de Bindzi, 2016)

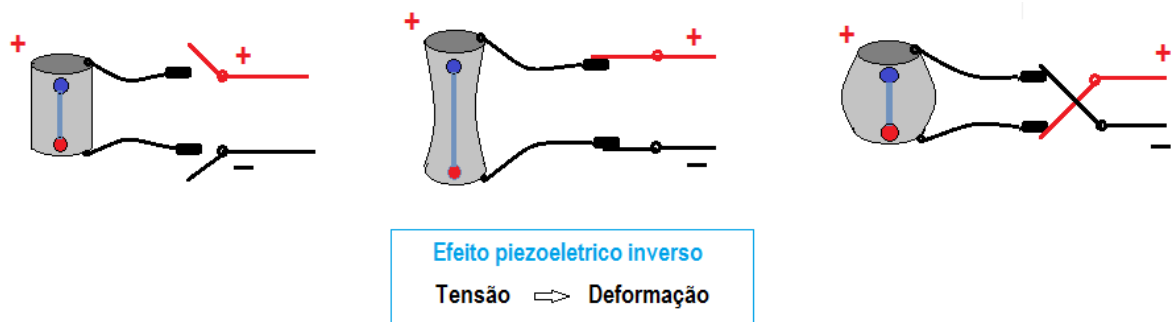


Figura 2. 5. Efeito piezoelétrico inverso (adaptado de Bindzi, 2016)

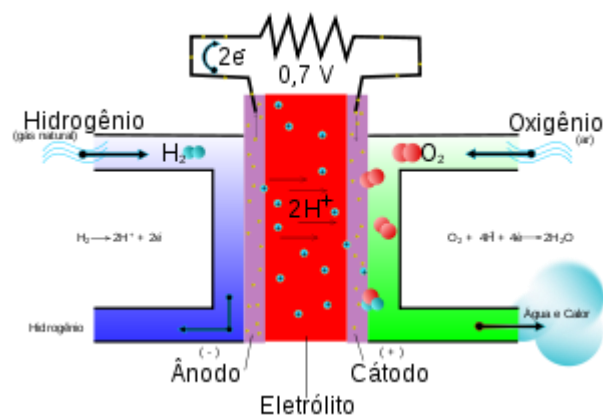


Figura 2. 6. Gerador eletroquímico (adaptado de Google Images 2016)

**f) Gerador eletromagnético ou alternador:** É uma máquina que transforma energia mecânica em energia elétrica através do movimento de rotação de bobinas de fio dentro de um campo magnético. Essa energia mecânica pode ser gerada através de motores a explosão, centrais hidroelétricas, centrais termoeletrônicas e centrais nucleares. (vd. Figura 2.7)

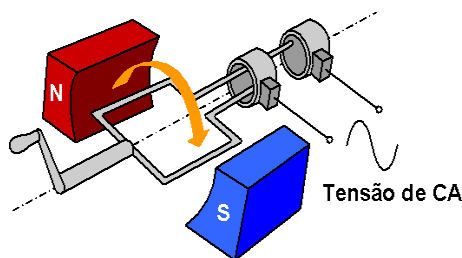


Figura 2. 7. Gerador elétrico (adaptado de <http://Macao.communications.museum/>, 2016)

**Nota:** Todas centrais elétricas exceto as de células fotovoltaicas possuem um alternador. É um equipamento que transforma uma energia mecânica (movimento da água, ar, vapor) em energia elétrica (corrente elétrica).

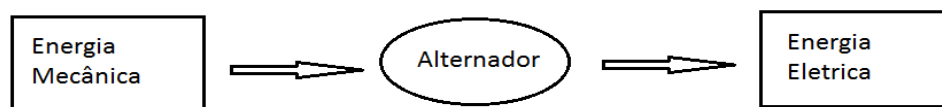


Figura 2. 8. Princípio de produção da energia elétrica (adaptado de Bindzi, 2016)

## 2.2.Fontes de energia

A produção da energia elétrica feita a partir das fontes primárias divide-se em dois grupos:

### Fontes convencionais

Também chamadas fontes tradicionais são aquelas cuja exploração tem um impacto negativo no meio ambiente, à exceção da energia hídrica, podem ser divididas em 4 grupos (vd. Quadro 2.1).

Quadro 2. 1. Diferentes fontes de energia convencionais (adaptado de Bindzi, 2016)

Fontes de energia convencionais			
Hídrica	<b>Fóssil</b>	Nuclear	Reação eletroquímica
	○ Petróleo		
	○ Carvão		
	○ Gás natural		

### Fontes renováveis

São consideradas como sendo energias verdes, no sentido que elas não agredem o meio ambiente, poluem pouco e daí a sua denominação como sendo energias limpas. São as formas de energia que ocorrem na natureza e que são produzidas continuamente em decorrência da

energia absorvida do sol, a qual, para efeitos da Humanidade, é suposta de duração infinita. Podem ser divididas em 6 grupos (vd. Quadro 2.2).

Quadro 2. 2. Fontes de energias renováveis (adaptado de Bindzi, 2016)

Fontes alternativas					
Solar	Eleólica	Geotérmica	Biomassa	Oceanos	Célula de combustível

## 2.3. Tecnologias da produção de eletricidade a partir das energias renováveis

### 2.3.1. Energia Eólica

Consiste na transformação da energia cinética do vento noutro tipo de energia, geralmente elétrica, que será utilizável pelo homem a nível doméstico ou industrial. Também se pode usar diretamente a energia eólica na bombagem de água. As máquinas utilizadas para produção de energia eólica são os aerogeradores e os aeromotores. Os aerogeradores são máquinas constituídas por dois sistemas:

O primeiro consiste na conversão linear do vento num movimento circular, função assegurada por turbinas que, quando submetidas a ação do vento, giram.

O segundo é um sistema clássico elétrico, constituído pelo um gerador elétrico.

Com os aerogeradores dá-se a produção da energia elétrica com a obrigatoriedade de existir um centro de transformação e um ponto de ligação à rede de abastecimento elétrico. Se pelo contrário tivermos aeromotores, produzimos energia mecânica e será necessário existir um poço de sucção, uma turbina de deslocação positiva e um depósito de regulação.

O princípio de funcionamento baseia-se na tecnologia aplicada no ramo da aviação com hélice, mas no sentido contrário. As hélices têm um perfil particular (curvatura) e, quando uma pá incide sobre o fluido, os princípios de sustentação e de resistência aerodinâmica criam uma força de reação que empurra o avião para frente.



Figura 2. 9. Eólica e aeromotor (adaptado de slides EALT-MESM, 2014)

Nas turbinas eólicas ou nos aerogeradores é o fluido em movimento que incide sobre a pá com o mesmo perfil e com base dos princípios anteriores, teremos a movimentação da pá.

### 2.3.2. Energia Solar

O estudo do solar fotovoltaico será confinado a uma ligeira apresentação do sistema, pois este tipo de instalação não necessita de um gerador (alternador) para a produção da energia elétrica. Apresenta-se o sistema solar fotovoltaico pelo fato que este pode ser interligado à instalação de produção da energia em micro-turbina com água de chuva, desempenhando a função de sistema de apoio.

#### Efeito fotovoltaico

Fenómeno físico específico de alguns materiais chamados semicondutores que produzem eletricidade quando expostos a luz.

O material mais comum é silício cristalino sendo usado em cerca de 90% de painéis existente no mundo.



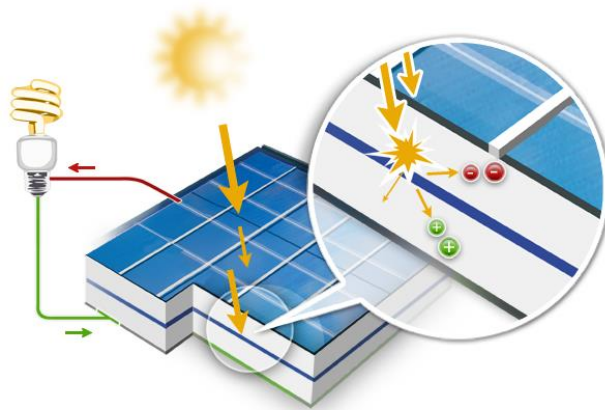


Figura 2. 10. Ilustração efeito fotoelétrico (adaptado de Hespul, 2016)

### **Tipos de células**

Basicamente existem três tipos:

**1-** As células monos cristalinas representam a primeira geração. O seu rendimento elétrico é relativamente elevado (aproximadamente 16%, podendo subir até cerca de 23% em laboratório), mas as técnicas utilizadas na sua produção são complexas e caras. Por outro lado, é necessária uma grande quantidade de energia no seu fabrico, devido à exigência de utilizar materiais em estado muito puro e com uma estrutura de cristal perfeita. (Figura 2.11 A).

**2-** As células policristalinas têm um custo de produção inferior, por necessitarem de menos energia no seu fabrico, mas apresentam um rendimento elétrico inferior (entre 11% e 13%, obtendo-se até 18% em laboratório). Esta redução de rendimento é causada pela imperfeição do cristal, devido ao sistema de fabrico. (Figura 2.11 B).

**3-** As células de silício amorfo são as que apresentam o custo mais reduzido, mas em contrapartida o seu rendimento elétrico é também o mais reduzido (aproximadamente 8% a 10%, ou 13% em laboratório). As células de silício amorfo são películas muito finas, o que permite serem utilizadas como material de construção, tirando ainda o proveito energético. (Figura 2.11 C).

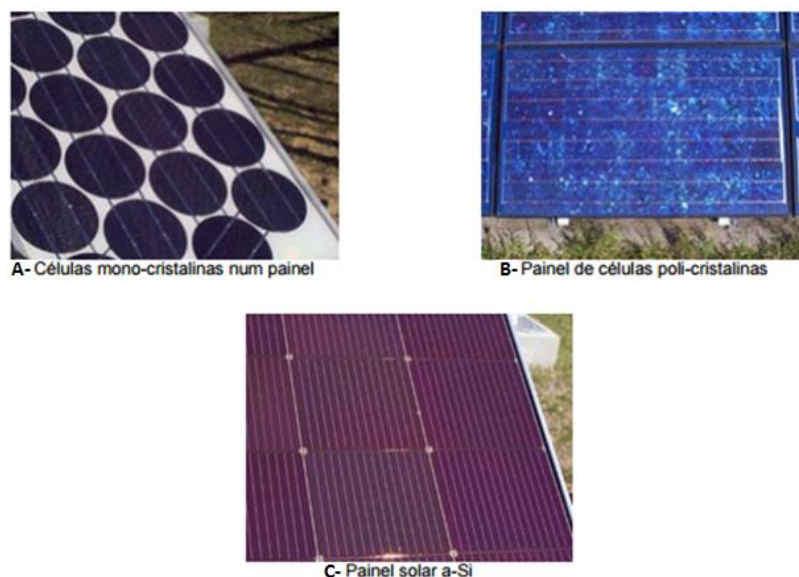


Figura 2. 11. Principais tipos de células fotovoltaico fotovoltaico (adaptado de portal energia, 2016)

### Rendimento

No quadro 2.3.apresenta-se o rendimento elétrico dos vários tipos de células fotovoltaicas.

(adaptado de BP solar).

Quadro 2. 3. Rendimento elétrico de vários tipos de células fotovoltaicas (adaptado de Bindzi, 2016)

Tipo	Rendimento típico [%]	Máximo registado em aplicações [%]	Rendimento máximo registado em laboratório[%]
<b>Mono-cristalina</b>	12-15	22.7	24.0
<b>Poli-cristalina</b>	11-14	15.3	18.6
<b>Silício amorfo</b>	6-7	10.2	12.7

### Produção de um painel

Uma célula individual, unidade de base dum sistema fotovoltaico, produz apenas uma reduzida potência elétrica, que varia entre 1 e 3 W, com uma tensão menor que 1 Volt.

Para obter potências mais elevadas as células são integradas, formando um módulo (ou painel). Podem ser ligadas em série obtendo-se deste modo um aumento da tensão, enquanto as ligações em paralelo permitem aumentar a intensidade da corrente elétrica. A maioria dos módulos comercializados é composta por 36 células de silício cristalino, ligadas em série,

para aplicações de 12V. Quanto maior for o módulo, maior será a potência e/ou a intensidade da corrente disponível

#### Diferentes tipos de painel solar e respetiva aplicação

A voltagem de um painel é um fator interessante no dimensionamento de uma instalação. De forma geral encontram-se no mercado 3 tipos de painéis solares (vd. Quadro 2.4).

Quadro 2. 4. Tipo de painel e aplicação (adaptado de Bindzi, 2016)

<b>Tipo de painel</b>	<b>Voltagem [V]</b>	<b>Potencia [W]</b>	<b>Utilização</b>
Baixa voltagem	1.5-6	MW	Relógios, Calculadoras
Pequeno painel	3-12	1-10	Rádio, jogos, pequena bomba de água
Grande painel	6-12	10-60	Bomba de água, autocaravana (luz, refrigeração) casas

#### Tipos de Sistemas fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em sistemas ligados à rede e em sistemas autónomos (vd. Figura 2.12). No último caso, o aproveitamento da energia solar precisa de ser ajustado à procura energética. Uma vez que a energia produzida não corresponde (na maior parte das vezes) à procura pontual de energia de um consumidor concreto, torna-se obrigatório considerar um sistema de armazenamento (baterias) e meios de apoio complementares de produção de energia (sistemas híbridos).

##### 1-Sistemas autónomos

A aplicação deste tipo de sistemas, ocorre onde o fornecimento de energia através da rede pública de distribuição de energia elétrica, não se verifica por razões técnicas e/ou económicas.

Na prática, os sistemas autónomos precisam de acumular energia para compensar as diferenças existentes no tempo entre a produção de energia e a sua procura.

##### Componentes de um sistema autónomo

- Gerador fotovoltaico (painéis fotovoltaicos)
- Regulador de carga
- Acumulador
- Consumo

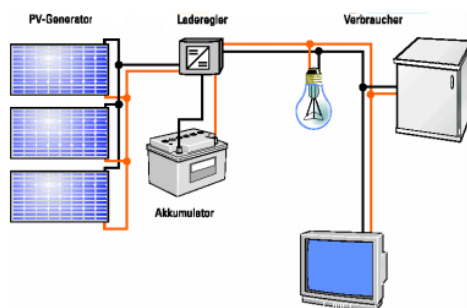


Figura 2. 12. Sistema autônomo (adaptado de Portal-Energia, 2016)

## 2-Sistema ligado à rede

Os sistemas de produção de energia fotovoltaica ligados à rede resultam da tendência para a descentralização da produção elétrica. A energia é produzida num local mais próximo do seu consumo e não apenas por grandes centrais térmicas ou hídricas.

Com o decorrer do tempo os sistemas ligados à rede vão reduzir a necessidade de aumentar a capacidade das linhas de transmissão e distribuição. Um sistema ligado à rede produz a sua própria energia e encaminha o excedente para a rede, na qual também se abastece, em caso de necessidade; estas transferências de energia eliminam a necessidade de adquirir e manter uma bateria de acumuladores (e-LEE).

### o Componentes de um sistema ligado a rede

- Gerador fotovoltaico (vários módulos fotovoltaicos dispostos em série e em paralelo, com estruturas de suporte e de montagem)
- Caixa de junção (equipada com dispositivos de proteção e interruptor de corte principal DC)
- Cabos AC-DC
- Inversor
- Mecanismo de proteção e aparelho de medida

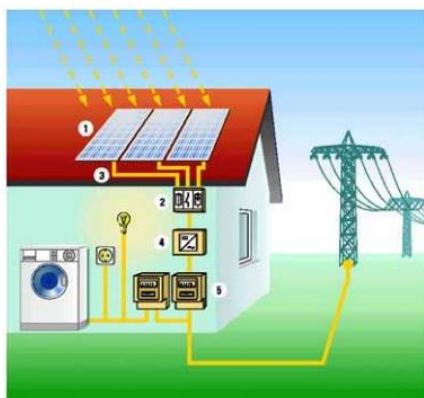


Figura 2. 13. Esquematização de um sistema fotovoltaico ligado a rede (adaptado de Portal-Energia, 2016)

### **2.3.3. Energia dos Oceanos**

Os oceanos cobrem 71% da superfície do globo e constituem uma fonte de energia “azul” que ainda não é muito explorada. Ondas, marés, corrente oceânica, calor e salinidade são algumas de fontes de energia nesta área.

Variadas técnicas têm vindo a ser desenvolvidas para extrair do oceano uma energia durável. O aproveitamento de energia dos oceanos está sujeito a um grande crescimento no futuro.

### **2.3.4. Biomassa**

A biomassa pode ser definida como sendo a fração biodegradável de produtos e resíduos agrícolas e florestais, bem como de resíduos industriais e urbanos.

#### **1-Fontes da biomassa**

- Lenho celulósicas (resíduos florestais, poda das árvores de fruto)
- Amiláceas (Grãos de cereais, tubérculos do tupinambo...)
- Oleaginosas (Girassol, soja, Colza...)
- Açucaradas (cana de açúcar, beterraba...)

#### **2-Tecnologia da produção da energia elétrica a partir da biomassa**

A produção de eletricidade pela biomassa passa por etapas sucessivas (vd. Figura 2.14). A primeira é a conversão termoquímica bem como a produção de um combustível que será posteriormente utilizado para alimentar um equipamento de produção de eletricidade (turbina, caldeira, motor, célula de combustível).

A tecnologia de produção da eletricidade através da biomassa não se enquadra nos objetivos do presente trabalho pelo que se limita a análise efetuada.

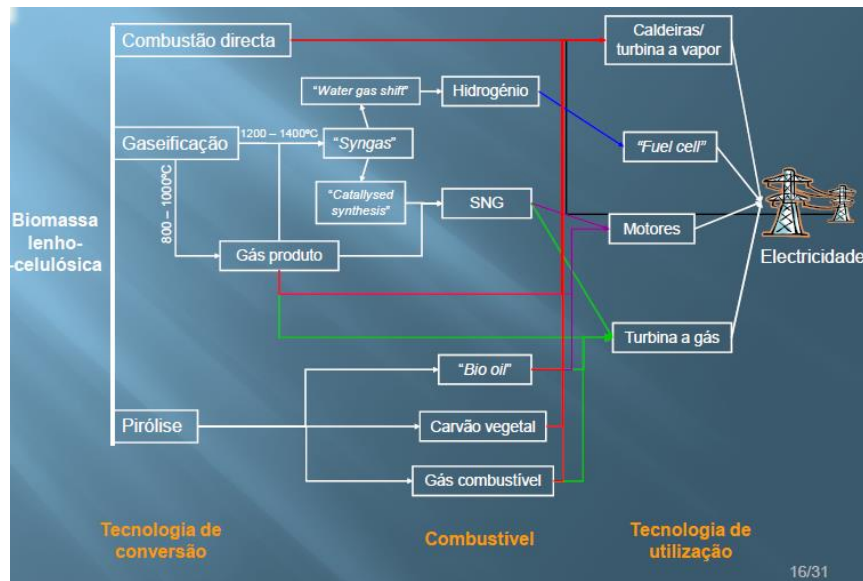


Figura 2. 14. Diagrama das etapas da produção de eletricidade a partir da biomassa (adaptado de slides EALT-MESM-ISEC,2014)

### 2.3.5. Energia Hidráulica

A energia hidráulica ou energia hídrica é a energia obtida a partir da energia potencial de uma massa de água.

#### 1-Fontes dos recursos hidráulicos

Manifesta-se nos fluxos de água como rios, lagos ou precipitações e pode ser aproveitada por meio de um desnível ou queda de água.

#### 2-Produção da energia elétrica: hidroeletricidade

Uma massa de água em movimento tem uma energia hidráulica. O princípio da hidroeletricidade é a captação e conversão desta energia hidráulica em energia mecânica e depois em elétrica. A água faz rodar uma turbina que acoplada mecanicamente a um alternador cria a sua rotação produzindo eletricidade (vd. Figura 2.15).

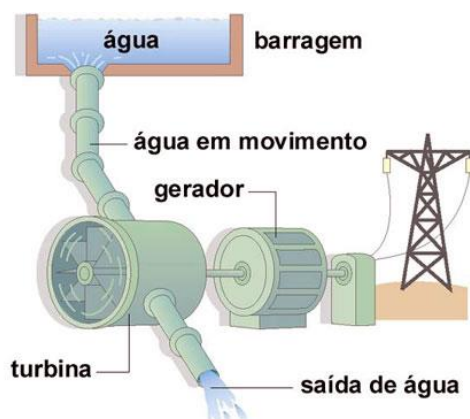


Figura 2. 15. Esquematização da produção hidroelétrica (adaptado de Google images, 2015)

### 3. Classificação das centrais

- Classificação em relação a potência e dimensões/tamanho

Quadro 2. 5. Classificação das centrais em relação a potência (adaptado de slides EALT-MESM-ISEC, 2014)

Designação	Potência [ MW]
<b>Grandes centrais hidroelétricas</b>	> 10
Centrais Mini-hídricas	
Pequenas centrais Hidroelétricas	<10
Mini centrais Hidroelétricas	<2
Micro centrais Hidroelétricas	<0.2

- Classificação das centrais Mini-Hídricas em relação a altura de queda

Quadro 2. 6. Classificação das centrais mini-hídrica em relação a altura de queda (adaptado de slides EALT-MESM-ISEC, 2014)

Designação	Altura $H_U$ [m]
Queda baixa	2-20
Queda media	20-150
Queda alta	> 150

- **Outro critério de classificação das centrais hidroelétrica: Modo de produção**
  - Central de gravidade: a queda da água está feita por gravidade
  - Central de transferência da energia por bombagem: a reserva da água é bombeada
  - Central mar motriz: utilizem as correntes induzidas pelas marés.

**4-Principais componentes de uma central hidroelétrica**

- **Turbina**

As turbinas usadas nas centrais hidroelétricas são turbinas hidráulicas, projetadas para transformar a energia de um fluxo de água em energia mecânica na forma de binário e velocidade de rotação.

As turbinas hidráulicas dividem-se em quatro grupos, cada uma adaptada as condições específicas.

- ✓ -Pelton
- ✓ -Kaplan
- ✓ -Francis
- ✓ -Turgo

No capítulo 4 trataremos em detalhe as turbinas hidráulicas.

- **Gerador**

Maquina elétrica rotativa que converte energia mecânica, ou outro tipo de energia, em energia elétrica.

Os geradores classificam-se em:

- ✓ Gerador síncrono
- ✓ Gerador assíncrono ou de indução
- ✓ Gerador de corrente contínua

Trataremos de forma mais explícita no capítulo 4 a tecnologia dos geradores

**2.3.6.Energia Geotérmica**

Energia geotérmica ou energia geotermal (geo: terra; térmica: calor) é a energia obtida a partir do calor proveniente do interior da terra.

Classifica-se em duas categorias:

**1-Geotermia de alta entalpia - alta temperatura ( $T > 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ )**

Geralmente associada a áreas de atividade vulcânica, sísmica ou magmática.

Neste campo é possível o aproveitamento para a produção de energia elétrica.

**2-Geotermia de baixa entalpia - baixa temperatura ( $T < 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ )**

Provém geralmente da circulação de água de origem meteórica em falhas e fraturas e por água residente em rochas porosas a grande profundidade. O aproveitamento deste calor pode ser realizado diretamente para aquecimento ambiente, aquecimento de águas sanitárias, piscicultura ou processos industriais.

**3-Fontes de geotermia**



- Vapor seco: Encontra-se em casos raríssimos, a pressão é altíssima, própria para movimentar as turbinas da central tornando-se assim uma fonte muito eficiente de produção da energia elétrica
- Vapor húmido misto: Por vezes, os geiseres oferecem condições ideais de temperatura e pressão podendo assim ser aproveitados para a produção de eletricidade.
- Rocha seca: Na ausência dos geiseres e das suas condições favoráveis, é possível promover o aquecimento da água usando o calor do interior da terra: dois poços adjacentes que atingem a camada da rocha quente, num dos poços está injetada água que será aquecida pela rocha e expelida noutro poço.
- Rocha húmida quente: Realizando um poço que vá atingir uma caldeira natural formada por um depósito de água aquecida pelo calor terrestre também pode servir para a produção de eletricidade

#### **4-Tecnologia de produção de eletricidade a partir da geotermia**

A produção de energia elétrica através do aproveitamento da energia geotérmica pode ser efetuada a partir de ciclo convencional ou ciclo binário (depende da entalpia e da composição do fluido geotérmico).

- **Ciclo binário**

No ciclo binário é utilizado um fluido de trabalho em circuito fechado, orgânico ou não, para o qual é transferida a energia do fluido geotérmico. O fluido nunca entra em contato com as unidades de turbina / gerador. Nesse tipo de instalação, a mistura bifásica água-vapor passa por um permutador de calor, onde troca calor com um fluido secundário, que se vaporiza e impulsiona as turbinas, acionando assim o gerador de energia elétrica (vd. Figura 2.16).

- **Ciclo convencional**

A fase líquida é separada da fase gasosa e apenas é utilizado o vapor geotérmico que é expandido diretamente na turbina a vapor. As tecnologias do ciclo convencional são:

- **Vapor seco**

Nesse tipo de instalação, o vapor é a principal fonte de energia, sendo extraído do poço de produção e deslocado diretamente para uma turbina que aciona um gerador que produz eletricidade. Estes poços emitem apenas vapor em excesso e quantidades muito menores de gases (vd. Figura 2.17).

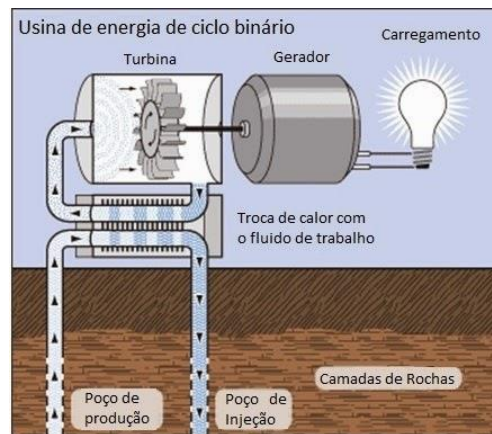


Figura 2. 16. Produção da eletricidade geotérmica por ciclo binário (adaptado de Engquimicasantosp, 2014)

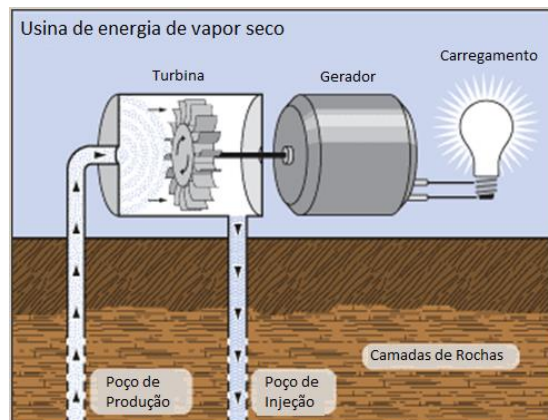


Figura 2. 17. Produção da eletricidade geotérmica por ciclo convencional-vapor seco (adaptado de Engquimicasantosp, 2014)

#### ○ Vapor Flash

A água quente juntamente com vapor a temperaturas superiores a  $180^{\circ}\text{C}$  é bombeada a alta pressão para um tanque de *flash* na superfície, onde se separa o vapor da água, e em seguida, o vapor é usado para acionar uma turbina que aciona um gerador de energia (vd. Figura 2.18).

A água que permanece no tanque pode ser aproveitada novamente em um segundo tanque de *flash* para extrair ainda mais energia.

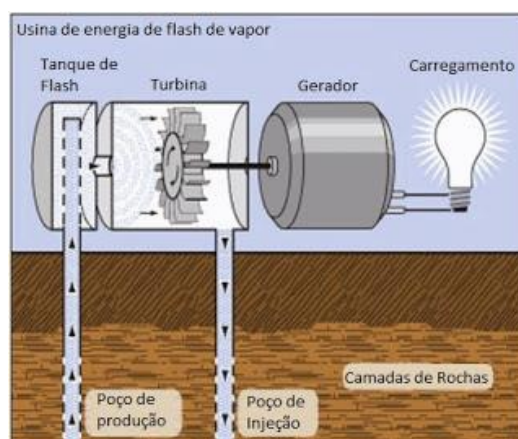


Figura 2. 18. Produção da eletricidade geotérmica por ciclo convencional-Flash vapor vapor  
(adaptado de Engquimicasantosp, 2014)

### 2.2.7.Células de Combustível

Convertem os elementos químicos do hidrogénio e do oxigénio em água enquanto gera eletricidade.

#### 1-Tipos de células

Basicamente existem 5 tipos relacionados com a tecnologia (Quadro 2.7)

Quadro 2. 7. Tipos de pilhas de combustível (Bindzi, 2016)

Tecnologia	Eletrólito	Temperatura[°C]
Alcalina(AFCs)	Hidróxido de potássio	60-90
Membrana de polímero(PECs/PEM)	Membrana de polímero	70-90
Acido fosfórico (PAFCs)	Acido fosfórico	200
Carbonato fundido(MCFCs)	Mistura fundida de lítio/potássio	600-650
Óxido sólido(SOFCs)	Oxido ítrio-Estabilidade de zircónio Oxido de yttria-Zirconio	800-1000

#### 2-Princípio de funcionamento

Funciona de modo inverso ao da eletrólise da água. Enquanto a eletrólise transforma a água em hidrogénio e em oxigénio sob ação de uma corrente elétrica, a célula de combustível recombina o hidrogénio e o oxigénio criando uma corrente elétrica.

A pilha de combustível constituída com várias células eletroquímicas constituídas de dois elétrodos (ânodo carregado negativamente e cátodo carregado positivamente), separados por um eletrólito (líquido que permite a passagem da eletricidade (vd. Figura 2.19)

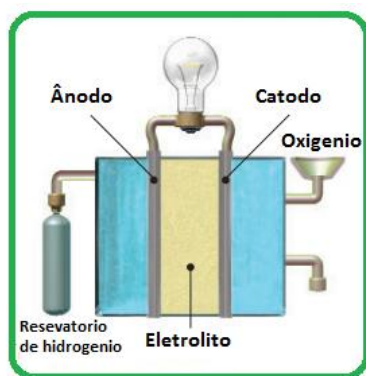


Figura 2. 19. Esquema de princípio da pilha de combustível (adaptado de cea.fr 2004)

O ânodo da pilha está carregado com hidrogénio, e cátodo carregado com oxigénio. Dentro do ânodo as moléculas de hidrogénio dissociam-se. Os iões  $H^+$  movimentem-se no eletrólito (vd. Figura 2.20).

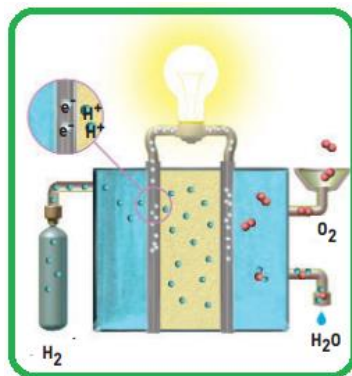


Figura 2. 20. Segunda etapa de produção elétrica numa pilha de combustível (adaptado de cea.fr, 2004)

O eletrólito da pilha de combustível está estruturado de forma a bloquear a passagem dos elétrons. Assim enquanto passam os iões no eletrólito, os elétrons são obrigados a circular num circuito externo criando de facto uma corrente elétrica (vd. Figura 2.21).



Figura 2. 21. 3ª etapa da produção elétrica numa pilha de combustível (adaptado de cea.fr, 2004)

No cátodo os iões  $H^+$  e oxigénio combinam-se para formar a água. A reação produz também o calor que pode ser recolhido (vd. Figura 2.22).

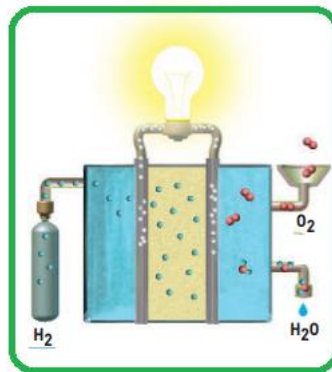


Figura 2. 22. Última etapa da produção elétrica numa pilha de combustível (adaptado de cea.fr, 2004)

A produção da eletricidade pela pilha de combustível não se enquadra no nosso estudo que se baseia em sistemas que produzem eletricidade através de acoplamento turbina/alternador.



---

## Capítulo 3. Água da chuva

### 3.1 Introdução

A consciência dos problemas ambientais desencadeados pela produção da energia a partir dos combustíveis fósseis, emissores de gases criadores do efeito de estufa, motivaram o ser humano na adoção de políticas de salvaguarda do planeta em termos de sustentabilidade, nomeadamente nas suas vertentes económica social e ambiental.

Também, o esgotamento das fontes de energia fóssil e a dependência energética do Ocidente relativamente aos países onde estão concentradas as reservas - países por vezes caracterizados por um clima de insegurança - constituíram fatores determinantes que motivaram Europa no lançamento de medidas e na adoção de políticas orientadas para a sustentabilidade energética. Por exemplo, o tratado de Lisboa definiu os objetivos da política energética da EU de forma seguinte:

- Assegurar o funcionamento do mercado da energia
- Assegurar a segurança do aprovisionamento da energia na EU
- Promover a eficiência energética e as economias de energia, bem como o desenvolvimento de formas de energia novas e renováveis; e ainda.
- Promover interconexão das redes de energia

Estes objetivos definiram as realizações a ser elaboradas da seguinte forma:

#### A-Quadro político geral

Atualmente, a agenda é regida pela política climática e energética integrada adotado pelo conselho europeu em Março de 2007, que visa atingir, até 2020:

- Redução de, pelo menos, 20% nas emissões de gases com efeito de estufa em comparação com os níveis de 1990
- Aumento para 20% da quota-parte das energias renováveis no consumo de energia
- Melhoria de 20% na eficiência energética

#### B-Realização do mercado interno de energia

Destaca-se o regulamento relativo à integridade e à transparência nos mercados grossista de energia (regulamento (EU) nº 1227/2011)

#### C-Fortalecimento das relações externas no domínio de energia

Com objetivo de estreitar os laços com parceiros para além das fronteiras de EU, referenciando – se ao comunicado (COM (2011) 539 adotado em 7 de setembro de 2011.

---

#### D-Melhoria da segurança do aprovisionamento energético

Aqui destaca-se o regulamento (EU) nº 994/2010 relativo a medidas destinadas a garantir a segurança de aprovisionamento em gás e que revoga a diretiva 2004/67CE do conselho

#### E-Promoção da eficiência energética

Visando a colocar os estados membros num bom caminho em relação aos compromissos dos objetivos de 2020, destaca-se a diretiva 2012/27/EU, de 25 de Outubro de 2012

F- Melhor aproveitamento possível dos recursos energéticos endógenos da EU (incluídos as energias renováveis)

Acordado no conselho Europeu de Maio de 2013

#### G-Projetos de investigação, desenvolvimento e demonstração

A aplicação desta é realizada em três níveis

##### 1-horizonte 2020 (H2020)

Esta fase iniciou-se em 2014 e acabará em 2020 com promoção de investigação no domínio energético, tendo sido reservados fundos de um montante de 5931 milhões de Euros.

##### 2-Plano Estratégico Europeu para as Tecnologias Energéticas (Plano SET)

Adotado pela comissão em 22 Novembro de 2007 tem por objetivo de acelerar a introdução no mercado e a adoção de tecnologias Hipo carbónicas e eficientes em termo de energia (Plano SET) (COM (2009) 519)

##### 3-Estrategia futura de Tecnologia energética

Destaca-se a comunicação da comissão intitulada <<Tecnologias e inovação energéticas>> COM(2013)0253) publicada em 2 de Maio de 2013, define a estratégia que visa a permitir a EU dispor de um sector de tecnologia e de inovação de nível mundial,

### 3.2. O recurso água da chuva

A chuva é um fenómeno meteorológico que resulta da precipitação de gotas sólidas de neve ou de gotas líquidas da água das nuvens sobre a superfície da terra.

As chuvas são formadas de diferentes formas conferindo-lhes diferentes classificações:

**Chuvas orográficas** que ocorrem quando uma massa de ar húmido encontra uma barreira formada por um relevo, por exemplo uma montanha, obrigando as nuvens a subir, agrupando-se e condensando, originando precipitações (vd. Figura 3.1).



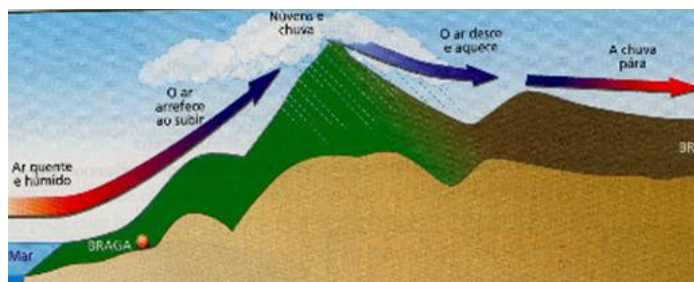


Figura 3. 1. Fenómeno da chuva Orográfica (adaptado de [geografia 7](#), 2016)

**Chuvas convectivas** que ocorrem em zonas com temperaturas elevadas, onde existe muita evaporação. O vapor de água sobe e arrefece com a altitude formando grandes nuvens verticais que dão origem a muita precipitação. (vd. Figura 3.2)

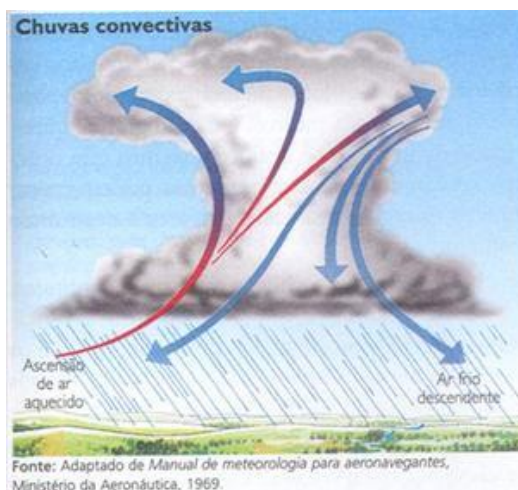


Figura 3. 2. Fenómeno da chuva convectiva (adaptado de Manual de meteorologia para aeronavegantes, 1969)

**Chuvas frontais** que resultam do choque entre uma massa de ar fria e uma massa de ar quente; o ar quente, mais leve, eleva-se e ocupa camadas superiores da atmosfera. Nesta subida e no contato com ar frio, há uma condensação que cria a precipitação (vd. Figura 3.3).

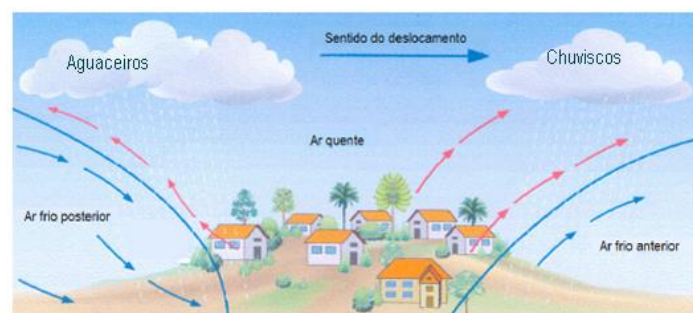


Figura 3. 3. Fenómeno da chuva frontal (adaptado de [geografia 7](#), 2016).

Independentemente de sua origem, a chuva tem um papel importante na atividade humana, além de contribuir para o ciclo hidrológico (vd. Figura 3.4).



Figura 3. 4. Ciclo da água ou ciclo hidrológico (adaptado de Wikipedia, 2015)

A energia hídrica é uma das consequências das precipitações nas quais a água de chuva assume grande importância, pois esta contribui fortemente para a dimensão do fluxo dos rios, influenciando assim a potência hídrica. Esta situação verifica-se no aproveitamento da água de chuva a jusante em relação aos dois níveis estabelecidos na alínea 1.2. A exploração do segundo nível, a montante, acontece porque água cai na superfície terrestre e escoar-se nas infraestruturas, como os telhados e as vias de comunicação, antes de chegar aos rios, aos lagos e aos mares.

A água da chuva está incluída na cadeia da energia hídrica na qualidade de um dos componentes das precipitações. A energia hídrica pertence à família das energias renováveis, logo podemos concluir que água de chuva constitui uma energia renovável do mesmo modo

que todos outros constituintes das precipitações que entrem na cadeia da energia hídrica, tais como o granizo, a neve e a neblina.

### 3.3. Pluviometria em Portugal

A tecnologia micro-hídrica pluvial está ligada à quantidade de chuva, assim quanto maior esta é, maior será o rendimento. Logo é fundamental dispor de informação detalhada sobre a pluviometria da zona de interesse.

A pluviometria é a medida das precipitações; água das nuvens aglutina-se formando chuva e quando se mede a quantidade de água de chuva, devido à precipitação que caiu num certo local, num período de tempo, fala-se de pluviosidade. O pluviómetro é um aparelho de meteorologia para recolher e medir, em milímetros lineares, a quantidade de líquidos ou sólidos (chuva, neve, granizo) precipitado durante um determinado tempo, num determinado local. Permite conhecer o regime pluviométrico que é a distribuição das chuvas durante os 12 meses do ano, num determinado local. A unidade de medição da pluviosidade é o milímetro [mm].

Uma pluviosidade de 1 milímetro equivale a um volume de 1 litro de água de chuva que se acumulou numa área de 1 metro quadrado [m<sup>2</sup>].

O instrumento da mediação da pluviometria é o pluviómetro (vd. Figura 3.5)

.



Figura 3. 5. Pluviómetro (adaptado de Wikipedia., 2016)

Quando se mede a variação da pluviosidade em função do tempo, usa-se um instrumento chamado pluviógrafo (vd. Figura 3.6) que é um pluviómetro dotado de um dispositivo de registo cronológico contínuo.

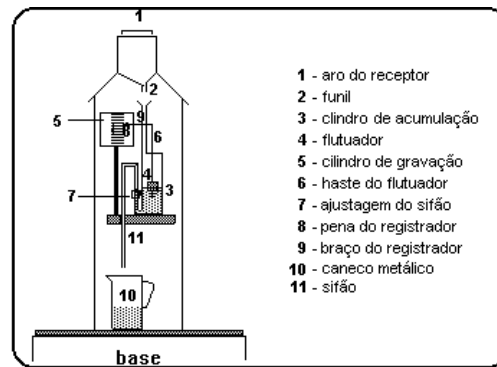


Figura 3. 6. Pluviógrafo tipo Hellmann-Fuess (adaptado de Fernandes.C, 2002)

Estes registos são feitos em gráficos denominados Pluviógramas (vd.Figura 3.7) onde a pluviosidade (mm) está indicada num dos eixos do diagrama e o tempo (hora) noutro eixo. A taxa de variação da pluviosidade por unidade de tempo assim obtida está indicada em mm/h.

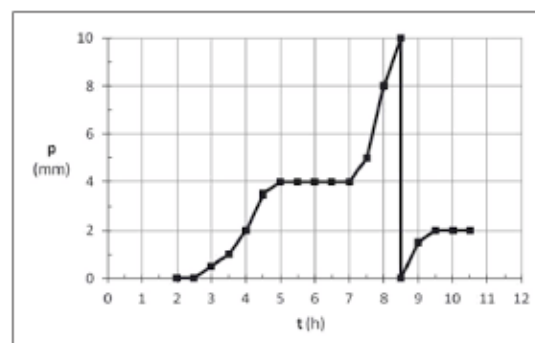


Figura 3. 7. Pluviograma (adaptado de tecconsursos, 2012)

### 3.4.Mapas de precipitações

A altura de precipitação é definida como sendo a espessura, medida na vertical, de uma lâmina de água que se acumularia sobre a projeção horizontal da superfície atingida, se toda a precipitação aí ficasse retida (Lencastre e Franco, 2006).

A altura de precipitação é expressa em mm e corresponde à divisão do volume de precipitação pela área da região atingida. Não é um fenómeno linear, dependente de vários parâmetros externos tornando-se específica de cada região e de cada zona geográfica. Apresentam-se os mapas de precipitação e o diagrama de pluviometria de Portugal (vd. Figuras 3.8 e 3.9)

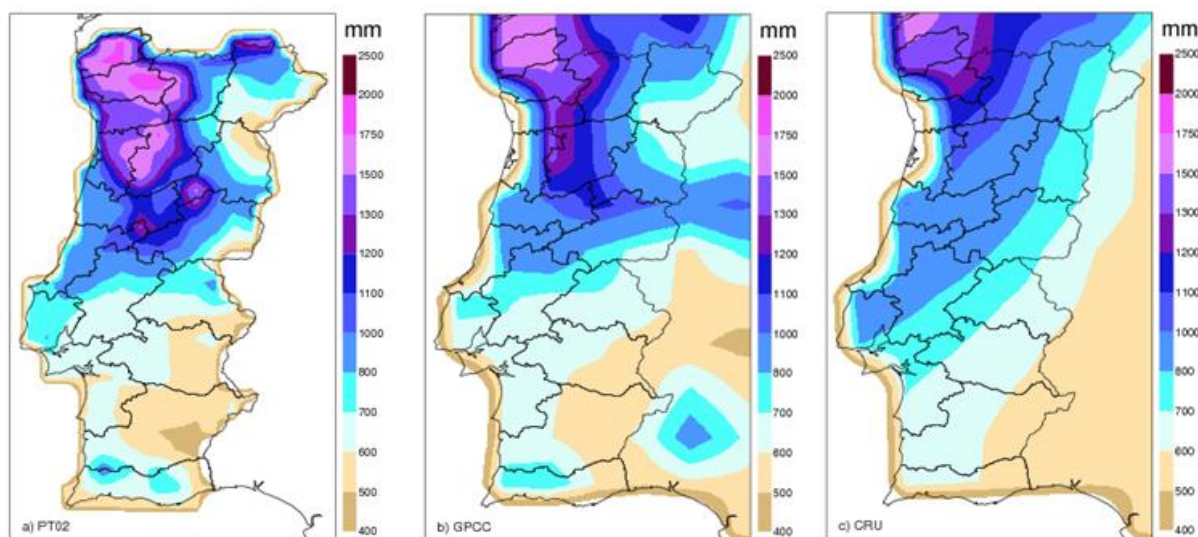


Figura 3. 8. Mapa de precipitação do Portugal continental (adaptado de IPMA, 2015)

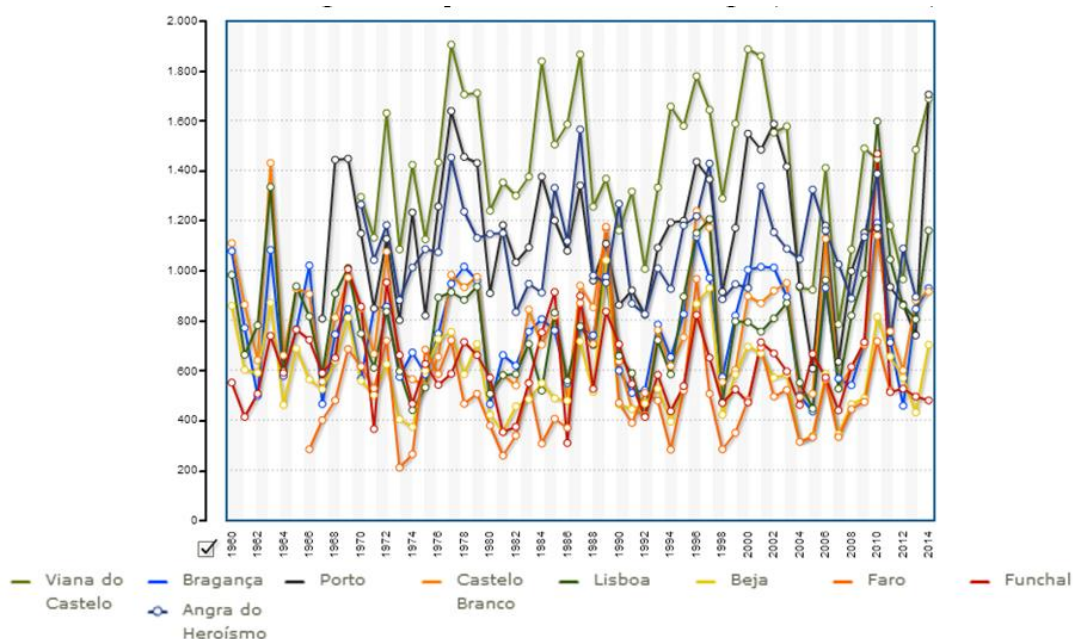


Figura 3. 9. Diagrama de pluviometria do Portugal (adaptado de Portada, 2015)

### 3.5. Coeficiente de escoamento

O coeficiente de escoamento ou de enxurro é a relação entre a quantidade total da água escoada numa determinada secção e a quantidade total da água precipitada na bacia hidrográfica contribuinte para essa secção. (Hidráulica Urbana, 3ª edição 2011)

Este coeficiente é fortemente influenciado pela impermeabilização da superfície, mas também pela inclinação, pelo particionamento das superfícies de escoamento (paredes, aterros), pela frequência da chuva, entre outros, e calcula-se pela equação seguinte:



$$C = \frac{P_U}{P_{bh}} \quad (1)$$

em que:

C: Coeficiente de escoamento adm

$P_U$ : Precipitação útil [mm]

$P_{bh}$ : Precipitação total sobre uma dada bacia hidrográfica [mm]

Se a área considerada é constituída por superfícies de natureza diversa, deve efetuar-se uma média ponderada:

$$C_m = \frac{\sum_{i=1}^N S_i \cdot C_i}{\sum_{i=1}^N S_i} \quad (2)$$

em que:

$S_i$ : Superfície da área i [ $m^2$ ]

$C_i$ : coeficiente de escoamento da área i adm

$C_m$ : coeficiente de escoamento medio ponderado adm

No quadro 3.1 apresenta-se alguns valores do coeficiente de Enxuro

Quadro 3.1. Valores dos coeficientes de escoamento para diversas zonas (Hidráulica Urbana 2011)

Ocupação	C
<b>Zonas verdes</b> -Baldios -Relvados em solos arenosos - Relvados em solos pesados -Campo desportivos	0.1-0.3 0.05-0.20 0.15-0.35 0.20-0.35
<b>Zonas comerciais</b> -Centro da cidade -Periferia	0.70-0.95 0.50-0.70
<b>Zona residenciais</b> -Habitações individuais no centro da cidade - Habitações individuais na periferia -Habitações coletivas -Telhados e coberturas	0.30-0.50 0.25-0.40 0.50-0.70 0.75-0.95
<b>Zonas industriais</b> -Dispersas -Concentrada	0.50-0.80 0.60-0.90
<b>Vias de comunicações</b> -Asfaltadas -De betão -Passeios	0.70-0.90 0.80-0.95 0.75-0.85

### 3.6. Curvas IDF (Intensidade-Duração-Frequência de precipitação)

As curvas de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) estabelecem a relação entre a intensidade de precipitação (I), a duração da precipitação ( $t_p$ ) e o período de retorno (TR). (Hidráulica Urbana, 3.<sup>a</sup> edição 2011)

Segundo “Drenagem em Infraestruturas de transporte e hidráulica de pontes” define-se intensidade de precipitação (I) como:

$$I = \frac{\Delta P}{\Delta t} \quad (3)$$

onde  $\Delta P$  representa altura de precipitação ocorrida nesse intervalo de tempo [mm] e  $\Delta t$  o intervalo de tempo

O período de retorno ou período de recorrência ou tempo de recorrência calcula-se a partir da expressão seguinte:

$$T = \frac{1}{P} \quad (4)$$

sendo:

T: período de retorno [ano]

P: Probabilidade do evento ser igualado ou superado

Por sua vez, a intensidade média de precipitação I (mm/h) máxima calcula-se a partir de:

$$I = a * t^b \quad (5)$$

t: duração da precipitação considerada [min]

a e b : Parâmetros de ajustamento (vd quadro 3.2)

Quadro 3. 2. Valores dos parâmetros a e b em relação a região e período de retorno (adaptado de DI 23/95)

Período de retorno (anos)	Regiões Pluviométricas					
	A		B		C	
	a	b	a	b	a	b
2	202.72	-0.577	162.18	-0.577	243.26	-0.577
5	259.26	-0.562	207.41	-0.562	311.11	-0.562
10	290.26	-0.549	232.21	-0.549	348.82	-0.549
20	317.74	-0.538	254.19	-0.538	381.29	-0.538
50	349.54	-0.524	279.63	-0.524	419.45	-0.524
100	365.62	-0.508	292.50	-0.508	438.75	-0.508

A determinação de intensidade da pluviometria deve ser feita a partir dos valores adequados de duração de precipitação e do período de retorno que variam consoante ocupação (vd. quadro 3.3).

Quadro 3. 3. Utilização do período consoante ocupação (adaptado de Eduardo J., 2015)

Ocupação	Valor de T (Período de retorno) [Ano]
Áreas pavimentadas (tolerância do alagamento)	1
Coberturas ou terraços	5
Coberturas e áreas sem tolerância do alagamento	25

No quadro 3.4 apresenta-se alguns valores de intensidade média de precipitação.

Quadro 3. 4. Valores da intensidade pluviométrica média máxima (mm/h) numa chuvada de duração de 5 minutos numa região dada (adaptado de João P. 2012)

Período de retorno (anos)	Regiões Pluviométricas		
	A	B	C
2	80.09	64.07	96.11
5	104.93	83.95	125.92
10	120.14	96.11	144.17
20	133.67	106.93	160.40
50	150.40	120.32	185.18
100	161.42	129.97	194.95

As curvas IDF dividem o país em três regiões pluviométricas distintas (vd. Figura 3.10), cada uma fornece, para uma duração dada e um tempo de retorno, uma intensidade média máxima de precipitação.

O modelo foi estabelecido através das estatísticas da análise de séries históricas de registos udográficos correspondente a um número elevado de anos para as regiões aferentes. Apresentamos abaixo as regiões constituídas:

**Região pluviométrica A:** Inclui as áreas não referidas em B e C.

**Região pluviométrica B:** Inclui os concelhos de Alfândega da Fé, Alijó, Almeida, Boticas, Bragança, Carrazeda de Ansiães, Chaves, Figueira de Castelo Rodrigo, Freixo de Espada à Cinta, Macedo de Cavaleiros, Meda, Miranda do Douro, Mirandela, Mogadouro, Montalegre, Murça, Penedono, Pinhel, Ribeira de Pena, Sabrosa, Santa Marta de Penaguião, São João da



Pesqueira, Sernancelhe, Tabuaço, Torre de Moncorvo, Trancoso, Valpaços, Vila Flor, Vila Pouca de Aguiar, Vila Nova de Foz Côa, Vila Real, Vimioso e Vinhais.

**Região pluviométrica C:** Inclui os concelhos das Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira e do Continente, os concelhos de Guarda, Manteigas, Moimenta da Beira, Sabugal e Tarouca, e as áreas situadas a altitude superior a 700 metros dos concelhos de Aguiar da Beira, Amarante, Arcos de Valdevez, Arganil, Arouca Castanheira de Pera, Castro Daire, Celorico da Beira, Cinfães, Covilhã, Fundão, Góis, Gouveia, Lamego, Marvão, Melgaço, Oleiros, Pampilhosa da Serra, Ponte da Barca, Resende, Seia, S. Pedro do Sul, Terras do Bouro, Tondela, Vale de Cambra, Vila Nova de Paiva e Vouzela.

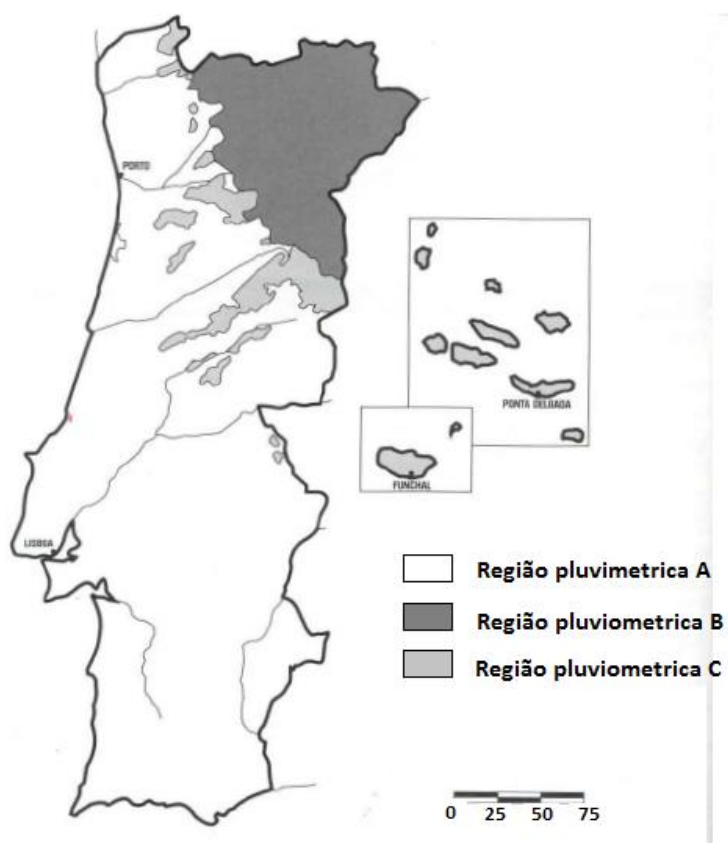


Figura 3. 10. Regiões pluviométricas (adaptado de Manual de Drenagem Superficial em vias de comunicação, IEP, 2001)



## Capítulo 4. Tecnologia Hidráulica

### 4.1. Turbinas hidráulicas

As turbinas hidráulicas transformam a energia Hidráulica em energia mecânica, tornando esta disponível num eixo ligado mecanicamente a um rotor de um gerador elétrico, que normalmente é um alternador.

As turbinas são constituídas de duas partes essenciais:

- O rotor que gira em torno de seu próprio eixo produzindo movimento de rotação, que tem um papel importante na produção da eletricidade.
- O distribuidor cuja função é de obter energia mecânica e também de conduzir água ao rotor numa direção mais adequada para otimizar o rendimento.

#### Classificação das turbinas

##### ➤ Turbinas de ação

- Pelton, que não funcionam imersas na água turbinada, mas ao ar livre; a água chega a roda (rotor) por jato, as pressões de entrada e de saída são iguais (vd. Figura.4.1)

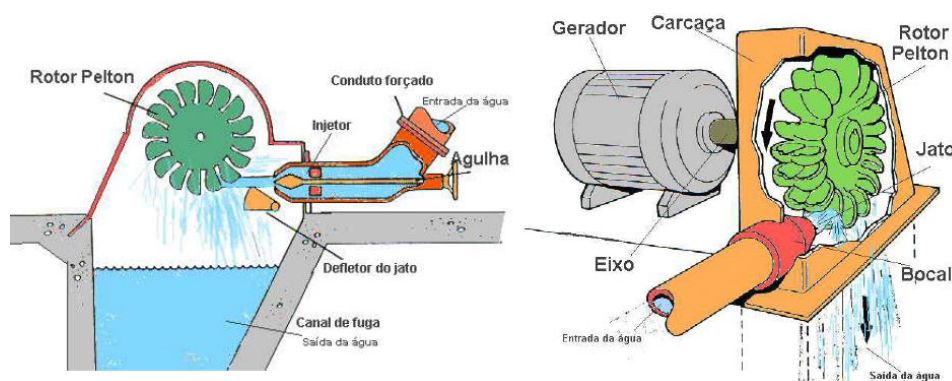


Figura 4. 1. Ilustração funcionamento turbina Pelton de eixo horizontal (adaptado de Antonio G.de Melo, 2000)

- Turgo que é similar a turbina de Pelton, contudo o jato é desenhado para atingir o plano do rotor segundo um determinado ângulo, aproximadamente  $20^\circ$ . A água entra por um lado do rotor e sai do outro, assim o fluxo que atravessa este tipo de turbina não está sujeito a qualquer interferência nem na saída das pás nem no retorno do jato interferindo com o próprio jato da entrada tal como acontece nas conchas da turbina de Pelton (vd. Figura 4.2)

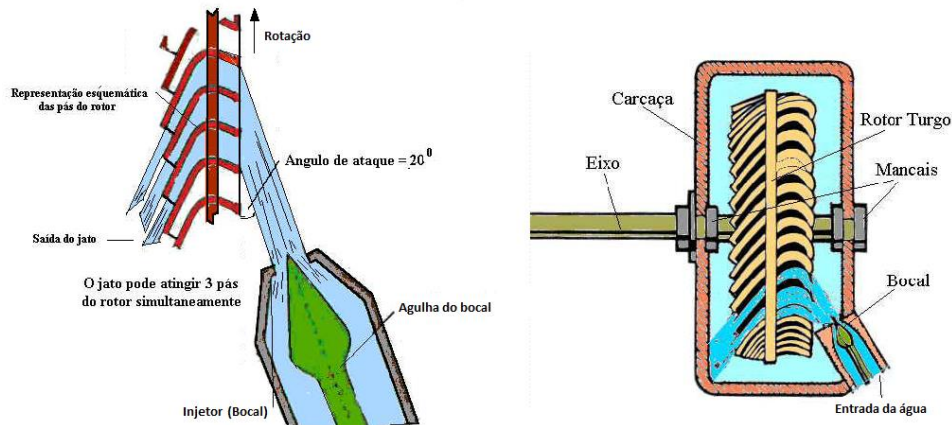


Figura 4. 2. Princípio de funcionamento turbina Turgo (adaptado de Antonio G.de Melo, 2000)

### ➤ Turbinas de reação

- Francis (vd. Figura 4.3) e Kaplan (vd. Figura 4.4), que trabalhem no seio da água turbinada. A água penetra no rotor por toda periferia, fazendo a descarga de forma paralela ao eixo de rotação. Nestas turbinas a pressão de saída é inferior à da entrada.

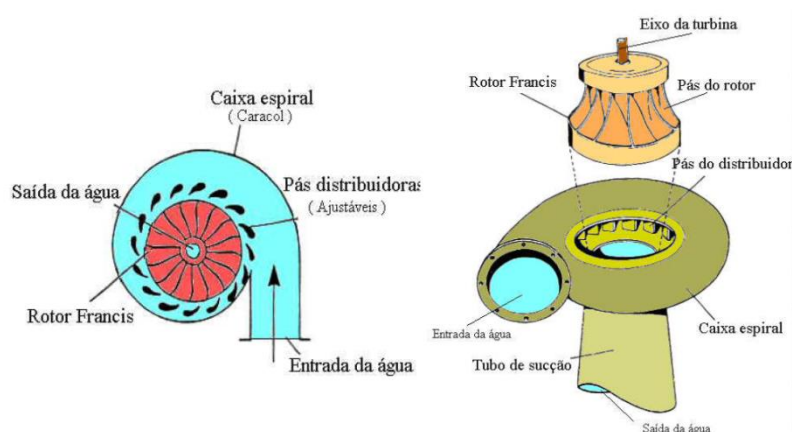


Figura 4. 3. Princípio de funcionamento turbina Francis de eixo vertical (adaptado de António G.de Melo, 2000)

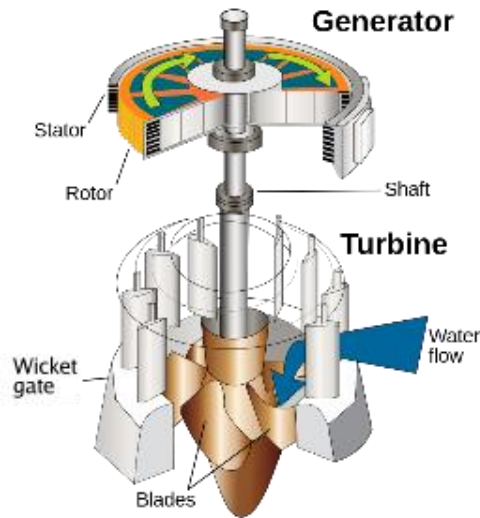


Figura 4. 4. Ilustração do princípio de funcionamento da turbina Kaplan (adaptado de Wikipedia, 2016)

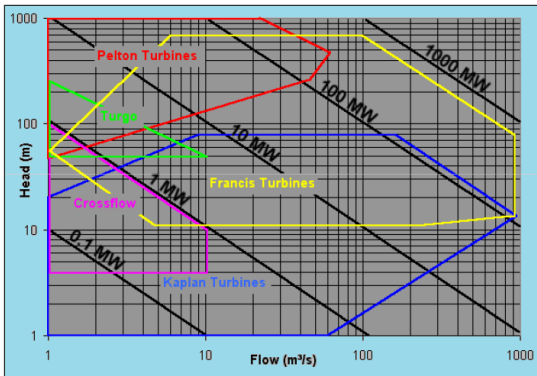
**Características**

Nesta secção apresentam-se alguns critérios de escolha de uma turbina resumidos no quadro 4.1, seguido das curvas das características e dos rendimentos de diferentes turbinas, no quadro 4.2 e na figura 4.5.

Quadro 4. 1. Critérios de escolha de uma turbina (adaptado de SHEMA,2010)

Designação	Altura de queda [m]	Potência Máxima	Vantagens	Caudal [m³/s]
Turbina Pelton	2500-250	15 MW	-Maior rendimento hidráulico em cargas parciais -Larga gama de variação de caudal e de queda	0.2-10
Banki Mitchell	100-3	2000 kW	-Custo -Facilidade de realização e manutenção -Larga gama de variação de caudal	0.02-2.0
Francis	300-15	15 MW	-Turbina e alternador rápido e de pequeno tamanho - Rendimento elevado para cargas elevadas.	3-100
Kaplan	30-2	15 MW	-Adaptação a quedas baixas -Boa adaptação aos caudais variando a orientação das pás	1-200
Turgo	200-24	10-3.000 kW	-Trabalho da turbina em grande faixa de rotações	1-10

Quadro 4. 2. Curvas características das principais turbinas (J.F.Mendes, 2009)



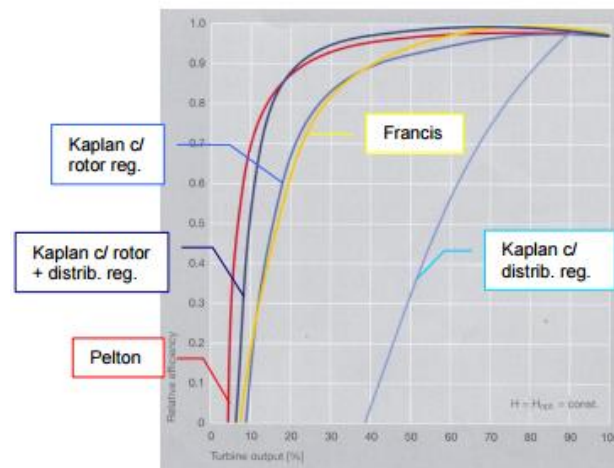


Figura 4. 5. Curva de rendimento das turbinas (adaptado de Voith, 2015)

### Estimativa da energia produzida

A quantidade de energia que é possível retirar do aproveitamento hidráulico depende do valor da potência a instalar e do período de mobilização desta potência, da altura de queda e do caudal (vd. Figura 4.6).

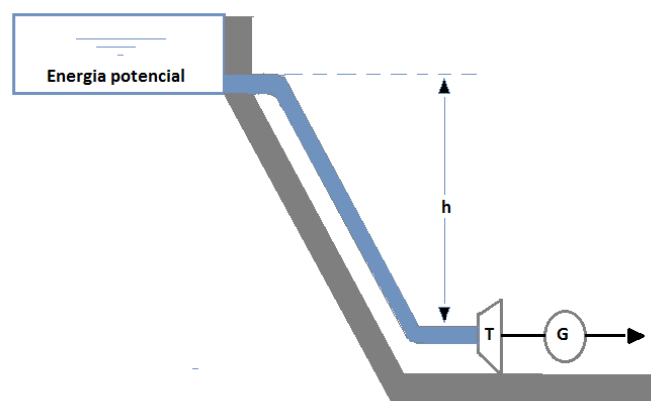


Figura 4. 6. Esquema de aproveitamento hidráulico (adaptado de Bindzi. 2016)

### Energia potencial contida numa massa de água

$$W_p = MgH \quad [J] \quad (6)$$

em que:

M: massa de água [kg]

g: Aceleração da gravidade [ $m/s^2$ ]

H: Altura bruta da queda de água [m]

**Potência teórica**

$$A \text{ potência útil } P_U = \rho g H_u Q \eta_t \quad [W] \quad (7)$$

em que:

$$H_u = \text{Queda útil [m]}$$

$$\eta_t = \text{Rendimento do grupo}$$

$$\rho: \text{Massa volúmica da água [Kg/m}^3]$$

$$Q = \text{caudal [m}^3/\text{s]}$$

**Queda útil  $H_U$** 

$$H_U = H - \Delta H \quad (8)$$

onde:  $\Delta H$  representa a perda de energia ao longo do circuito hidráulico incluindo a turbina, admitindo-se como valor corrente uma perda de 8%.

**Cálculo da velocidade de rotação máxima- $N_{Max}$** 

Para evitar o fenómeno de cavitação, é necessário limitar a velocidade de rotação. Para o efeito pode usar-se a fórmula seguinte:

$$N_{Max} = \frac{H^{2/3}}{P_t^{1/2}} \quad (\text{adaptado de Shema 2010}) \quad (9)$$

em que:

$$N_{Max}: \text{Velocidade máxima de rotação [rpm]}$$

$$H: \text{Altura de queda [m]}$$

$$P_t: \text{Potência teórica [Cv]; [1Cv=760 W]}$$

**Micro-turbina**

Como é óbvio, o nosso estudo não irá ser baseado na utilização das turbinas evocadas na alínea anterior, sendo estas usadas nos domínios das centrais mini-hídricas e das grandes centrais hidráulicas. Contudo, a evolução tecnológica permite a produção de micro-turbinas baseadas nos tipos de turbinas estudadas, mas em escalas e aplicações menores que se podem perfeitamente adaptar ao presente projeto. Apresentam-se no

Anexo I algumas marcas comerciais.

## 4.2. Tecnologia Micro-Hídrica Pluvial

### 1-Prédio

Esta é uma das infraestruturas onde se a poderá aplicar a tecnologia micro-hídrica pluvial; os prédios têm dois parâmetros fundamentais que são área de recolha (telhado) e a altura. Quando maiores forem estes dois parâmetros, melhor será o aproveitamento da energia. A água de chuva que cai nos telhados é recolhida pelas caleiras onde são ligados tubos de queda, e é nestes que são colocadas os componentes que constituem a tecnologia de micro-hídrica pluvial. (vd. Figura 4.11).

A energia hidráulica transforma-se primeiramente em energia potencial, cinética e de pressão e depois em energia mecânica.

A turbina acoplada mecanicamente a um alternador promove a sua rotação e converte energia mecânica em energia elétrica (vd, Figura 4.7).

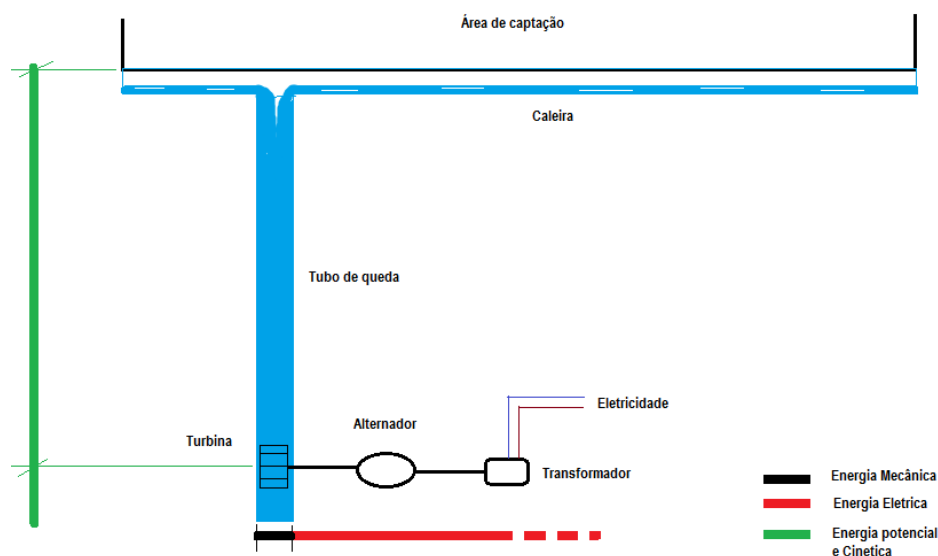


Figura 4. 7. Esquematização do micro hídrica pluvial (adaptado de Bindzi. 2016)

### Constituintes do sistema e respetiva função

Três elementos constituem o sistema que aproveita a estrutura existente e a rede de drenagem da água de chuva, estes são:

- Um filtro (vd. Figura 4.8):



As áreas de recolha recebem não só a água mas também detritos diversos como folhas de árvores, detritos depositados pelos pássaros e pó, de forma que, no início da estação de chuva, as primeiras águas são sujas, o que pode ser prejudicial aos componentes tais como a válvula e a micro-turbina. Para evitar que isso aconteça é necessário de colocar um filtro à entrada do tubo de queda.

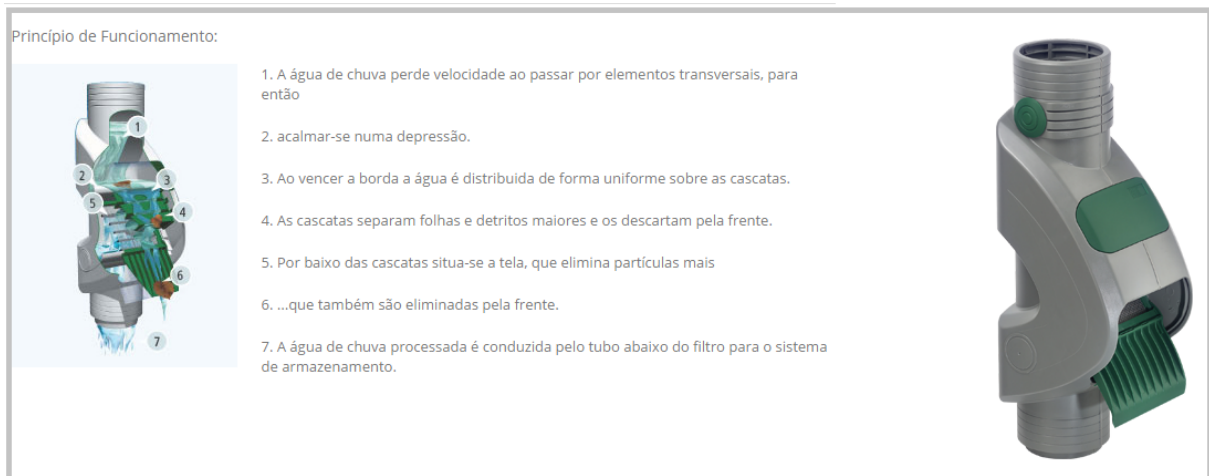


Figura 4. 8. Filtro de 3P Rainus (adaptado Google images, 2015)

- Uma válvula de aproveitamento da energia potencial (vd. Figura 4.9) que assegure uma coluna de água estável à micro-turbina. Para chegar neste resultado, propõe-se a solução seguinte:

Colocar uma válvula de aproveitamento da energia potencial (VEP) no tubo de queda a uma distância muito reduzida da micro-turbina. A válvula cujo funcionamento assenta numa mola de compressão, abre quando temos a relação pressão/peso desejada e permanece fechada enquanto aquela relação não é atingida.

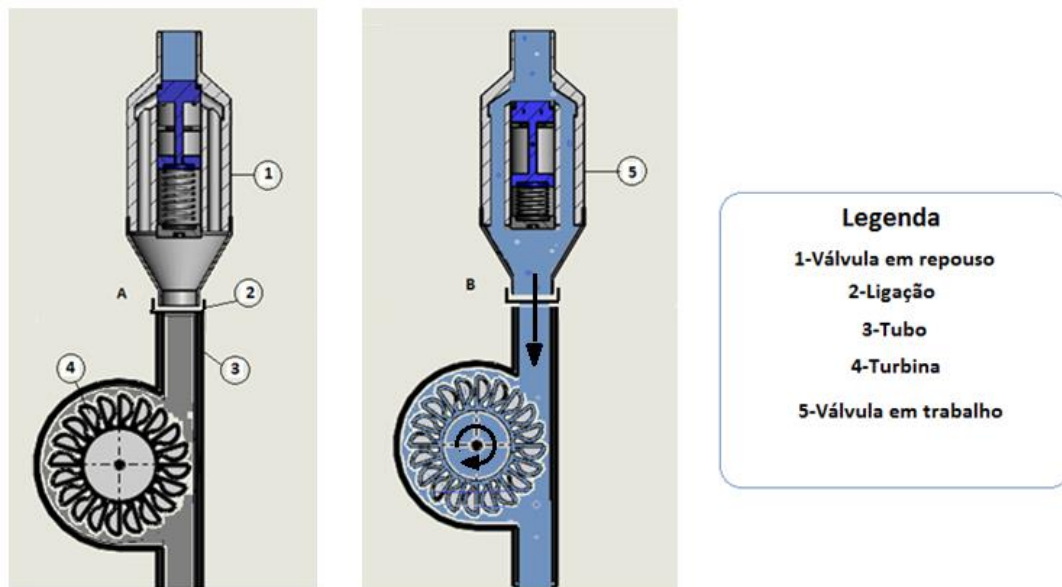


Figura 4. 9. Válvula de energia potencial ligada a micro-turbina A: válvula fechada, B: válvula aberta (adaptado de Bindzi. 2016)

- Uma micro-turbina, que promova a transformação da energia de pressão e cinética da água em energia mecânica e, posteriormente, em energia elétrica.

### Perfil do tubo de queda

Para melhor aproveitamento da energia hídrica o tubo de queda, que tem de ser estanque ao longo do seu comprimento, deve garantir duas funções:

- Função de canalizador no sentido que o fluido está confinado e escoar nele numa direção;
- Função de bacia de retenção no sentido de seu enchimento para criação da energia potencial.

Os tubos de queda são colocados na posição vertical e são geralmente circulares de seção constante, embora nada se oponha à modificação do seu perfil para aumentar eficiência do sistema. A propósito, o decreto regulamentar nº 23/95 de 23 de Agosto, título IV, capítulo III, artigo 135º, estabelece o que diz respeito a sequência da secção, o seguinte:

“Nas redes unitárias e separativas pluviais, pode aceitar-se a redução de secção para jusante, desde que se mantenha a capacidade de transporte.”

Deste modo, podemos desenhar perfis vantajosos para maior aproveitamento da energia da água.

Os materiais mais usados são: PVC, ferro galvanizado, PEAD, ferro fundido, aço, ou fibrocimento. Sabe-se que o material determina a rugosidade superficial do tubo com qual o fluido contata; quando maior a rugosidade, menor será a velocidade.

O diâmetro (D) do tubo de queda tem ser  $\geq 50\text{mm}$  e deverá ser maior do que os diâmetros de todos os ramais ligados neste tubo.

### Dimensionamento do tubo de queda

O dimensionamento do tubo de queda pode ser feito a partir da seguinte expressão:

$$Q = \left( \alpha + \beta \cdot \frac{H}{D} \right) \cdot \pi \cdot D \cdot H \cdot \sqrt{2gh_a} \quad (10)$$

e

$$D = \frac{Q}{\alpha \pi H \sqrt{2gH}} - \frac{\beta H}{\alpha} \quad (11)$$

em que:

Q: caudal [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

H: Carga no tubo de queda [m]

D: Diâmetro no tubo de queda [m]

g: aceleração da gravidade [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ]

$\alpha$ : Coeficiente dependendo do perfil da entrada do tubo

$\beta$ : Constante

$$\alpha: \left\{ \begin{array}{l} 0.453 - \\ \text{entrada caudal no tubo de queda com aresta viva} \end{array} \middle| \begin{array}{l} 0.578 - \\ \text{Entrada cônica no tubo de queda} \end{array} \right\}$$

$\beta$ : 0.350

O caudal de cálculo de cada tubo de queda será igual ao somatório de todos os caudais de cálculo de caleiras, algerozes e ramais de descarga que nestes descarregam.

A carga no tubo de queda é igual à altura da água na seção transversal das caleiras e algerozes. Adota-se, normalmente, como valor da carga no tubo de queda:  $0.7x$  (altura do tubo de queda). Reparamos a redução de 30% tendo em conta as perdas de carga, determinada por experiência.

### Otimização do aproveitamento da energia nos prédios

Através da equação (8), percebe-se que a potência depende de dois parâmetros, o caudal e a altura, admitindo-se a aceleração da gravidade constante ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ) bem como a massa volúmica da água ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ).

As infraestruturas prediais já estão normalmente construídas, de modo que não podemos acrescentar nem diminuir a sua altura, logo descartamos o parâmetro  $h_a$ .

A partida só nos falta o parâmetro  $Q$

Por definição o caudal é o produto da velocidade pela seção:  $Q = V.A$ , sendo  $V$ : velocidade  $[\text{m/s}]$  e  $A$ : área da seção transversal do tubo  $[\text{m}^2]$

Inspirados pela experiência de Venturi, desenhamos um tubo de queda para melhorar o aproveitamento da energia (vd. Figura 4.10).

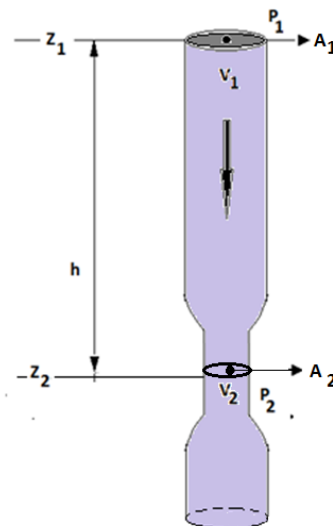


Figura 4. 10. Tubo de fluxo associado ao efeito Venturi (adaptado de Bindzi. 2016)

Aplicando equação de Bernoulli

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

Para um fluido de massa específica constante a equação da continuidade:

$$A_1 * V_1 = A_2 * V_2 \rightarrow A_2 = \frac{A_1 * V_1}{V_2}$$

em que:

$A_1$  e  $A_2$  são áreas das seções rectas em 1 e 2;  $V_1$  e  $V_2$  são velocidades do fluido em 1 e 2

Substituindo a expressão de  $A_2$  teremos:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \left( \frac{A_1}{A_2} \right)^2 + Z_2 \Leftrightarrow \frac{V_1^2}{2g} \left( \frac{A_1}{A_2} \right)^2 - \frac{V_1^2}{2g} = \frac{(P_1 + \gamma * Z_1) - (P_2 + \gamma * Z_2)}{\gamma}$$

Escrevendo:

$$P^*_1 = P_1 + \gamma * Z_1 \text{ e } P^*_2 = P_2 + \gamma * Z_2$$

$$V_1 = \sqrt{\frac{2(P^*_1 - P^*_2)}{\rho \left[ \left( \frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right]}} \quad (12)$$

Logo a expressão do caudal será:

$$Q = A * V \Leftrightarrow Q = A_1 * \sqrt{\frac{2(P^*_1 - P^*_2)}{\rho \left[ \left( \frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right]}} \quad (13)$$

### Tipos de Instalações prediais

- Instalações prediais existentes:

Num edifício, as caldeiras são ligadas a tubos de descarga. Assim, o volume da água recolhido na bacia está distribuído por estes tubos de queda, existindo três tipos de sistemas para aproveitamento da energia:

**Sistema 1:** Colocação em cada tubo de queda de uma micro-turbina (esta solução deve exigir uma regulação dos fluxos em cada tubo de queda de forma a que cada um tenha a sua coluna cheia de água, ou seja o enchimento terá que ser feito “tubo a tubo”. Este sistema designa-se: “Sistema paralelo” (vd. Figura 4.11)

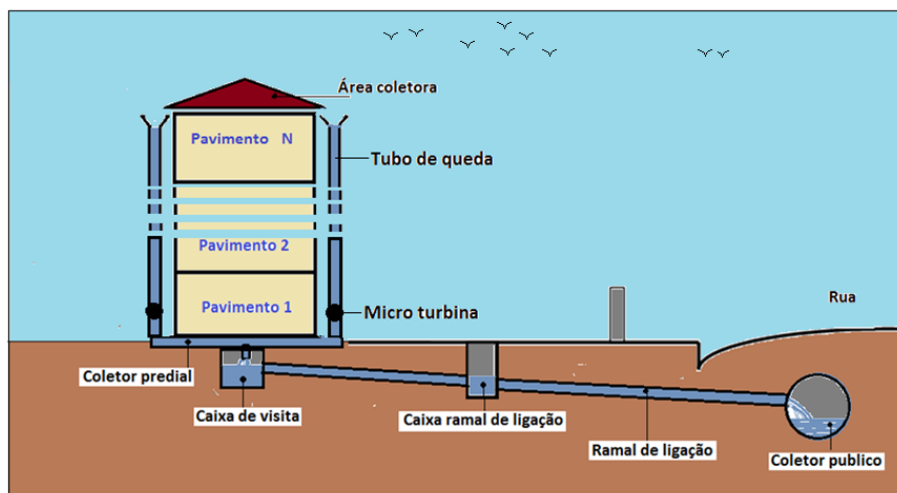


Figura 4. 11. Ilustração do sistema paralelo em prédio (adaptado de Bindzi. 2016)

**Sistema 2:** Colocação da micro-turbina na saída do coletor predial onde convergem as águas provenientes de todos tubos de queda. Este sistema designa-se: “*Sistema serie*” (vd. Figura 4.12)

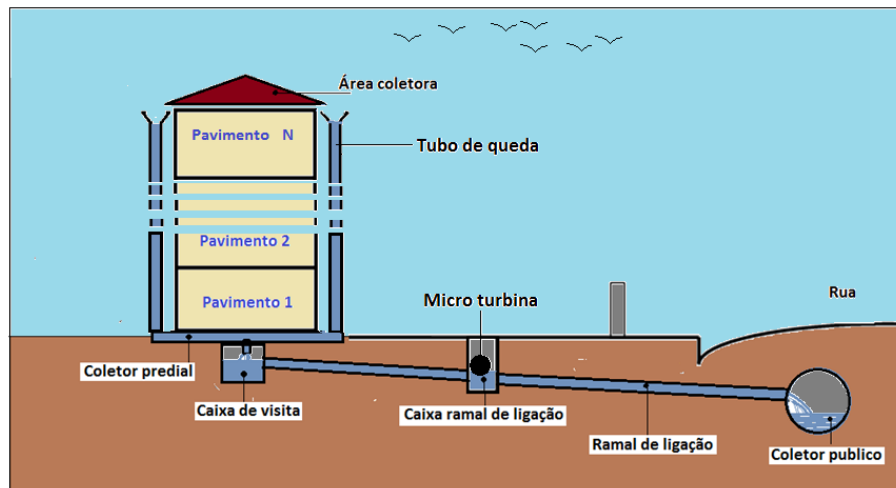


Figura 4. 12. Ilustração do sistema serie predial (adaptado de Bindzi. 2016)

**Sistema 3:** Conjugação dos dois sistemas anteriores, denominado: “*Sistema Misto*” (vd. Figura 4.13)

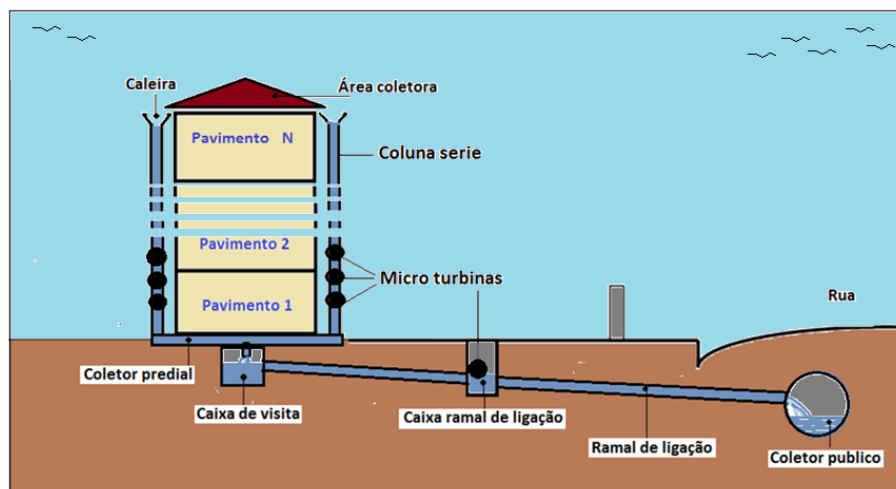


Figura 4. 13. Ilustração do sistema misto predial (adaptado de Bindzi. 2016)

- Tubo de queda especial

Num prédio de grande altura, realizar um tubo de queda onde se possam colocar várias micro-turbinas em série obriga a requisitos mínimos para aproveitamento da energia potencial na micro-turbina colocada na parte mais alta do tubo de queda. Assim podem colocar-se 2, 3, 5

ou mais micros turbinas, designando-se, neste caso, este tubo por “*coluna múltipla*”. (vd. Figura 4.14).

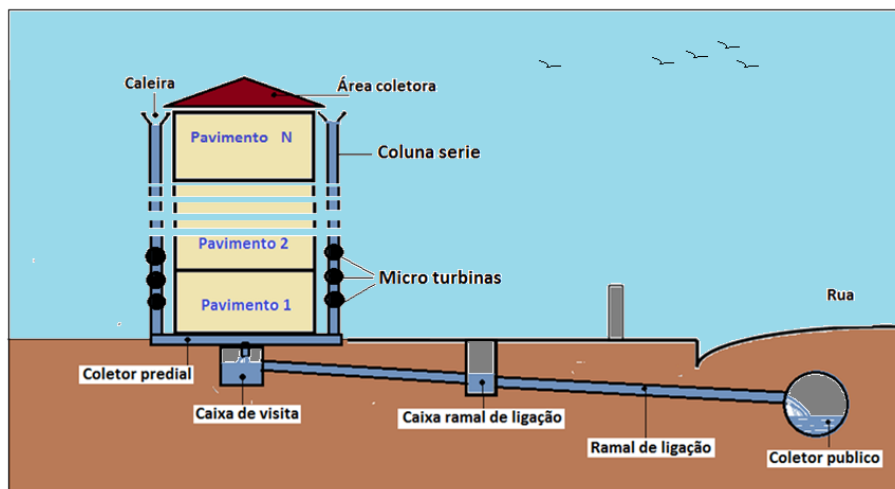


Figura 4. 14. Ilustração do sistema coluna múltipla predial (adaptado de Bindzi. 2016)

No caso representado na figura 4.15 aproveita-se o efeito venturi na escolha do perfil do tubo com o objetivo de ter um binário maior na turbina. Este sistema designa-se: “*coluna venturi*”.

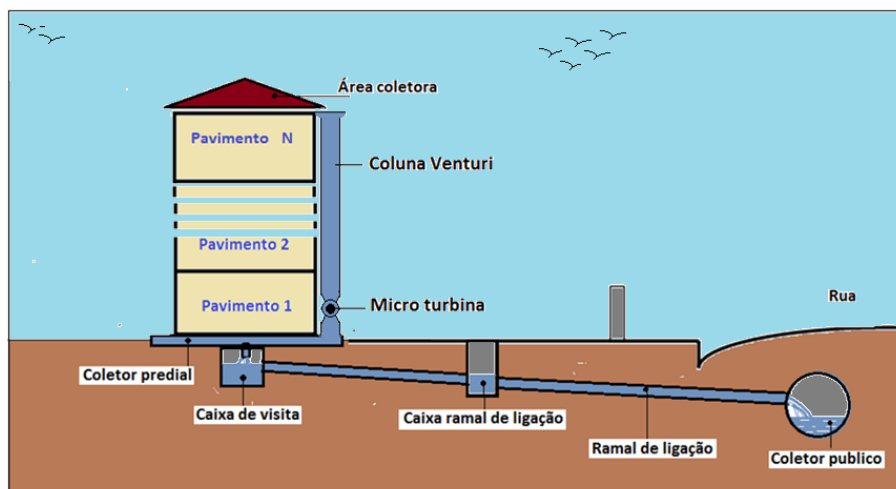


Figura 4. 15. Ilustração do sistema predial coluna venturi (adaptado de Bindzi. 2016)

### Aplicação da tecnologia micro-hídrica pluvial na produção de energia piezoelétrica

A válvula da energia potencial trabalhando conforme a carga da coluna, descarregando a água do tubo de forma periódica, permite aproveitar a pressão da água à saída da válvula colocando um contato piezoelétrico direito (vd. Figuras 4.16 A e B e, de forma mais explícita, as plantas encontram-se no Anexo II).

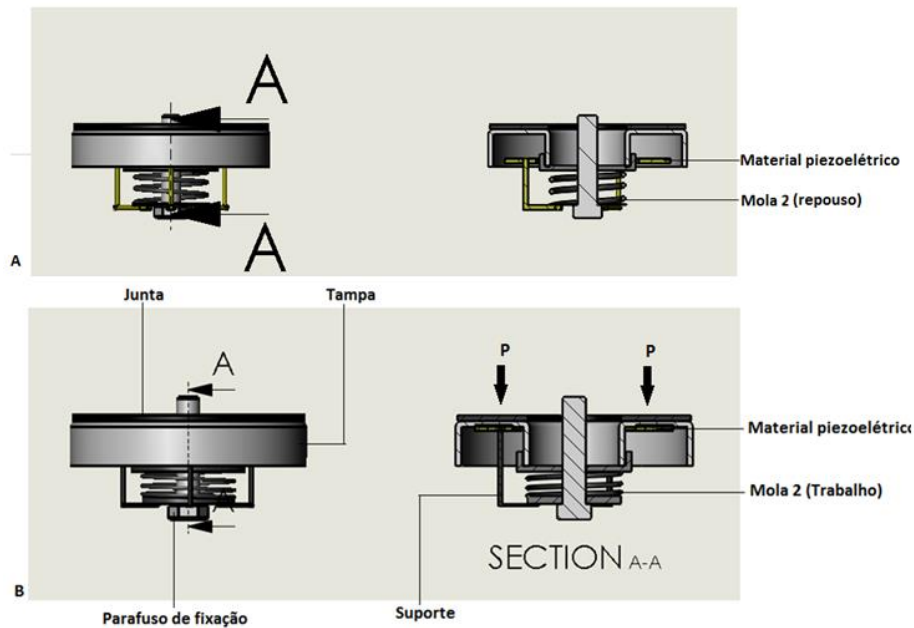


Figura 4. 16. A: Contato piezoelétrico em repouso, B: em trabalho (adaptado de Bindzi. 2016)

### Funcionamento da válvula piezoelétrica

Logo que o peso desejado está atingido na coluna (tubo de queda), a mola 1 fica comprimida, por consequência, o êmbolo desliza por baixo o que permite abertura dos orifícios que comuniquem com canais e daí a passagem da água. A pressão da água à saída dos canais vá empurrar pela sua vez a tampa do contato piezoelétrico solidária da mola 2 que se comprime, o deslocamento da tampa exerça uma força vertical no material piezoelétrico originando a sua deformação e daí uma produção da eletricidade (vd. Figura 4.17.B).

Com o alívio da pressão da água na coluna (uma parte da água saiu), a mola 1 volta à sua posição inicial (repouso), o êmbolo desliza por cima originando obturação dos canais: a válvula fecha-se e por consequência a pressão a saída dos canais é nula, a mola 2 (do contato piezoelétrico) volte na posição de repouso, a tampa move-se por cima, o material piezoelétrico já não é sujeito a qualquer força e volte a sua condição inicial e daí o fim da produção elétrica. (Vd. Figura 4.17 A).



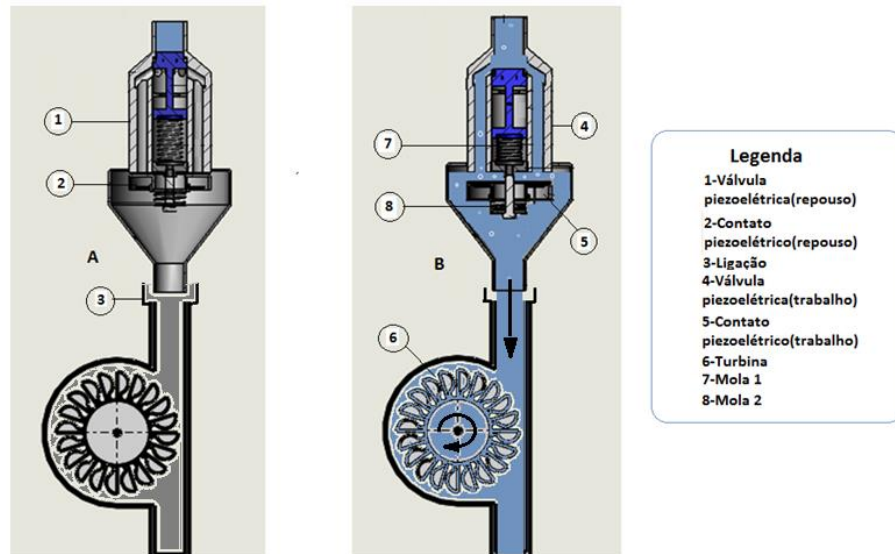


Figura 4. 17. Ilustração do funcionamento da válvula piezoelétrica: Em A, a válvula encontra se fechada. Em B, a válvula encontra se aberta (adaptado de Bindzi. 2016)

### Cálculos da tensão e de Intensidade piezoelétrica

Em 1819 o físico Francês Antoine Becquerel (1788-1878), desmontou a existência da relação entre a pressão exercida num cristal piezoelétrico e a tensão produzida de acordo com a seguinte expressão.

$$U = S * P \quad (14)$$

em que:

U: Tensão [V]

S:Constante de sensibilidade-adm

P:Pressão [Pa]

S depende de dois parâmetros: Constante piezoelétrica (k-adm) e espessura h do cristal [m]

$$S = k * h \quad (15)$$

Logo:

$$U = k * h * P \quad (16)$$

A constante k depende do material utilizado, (vd. Anexo IV) o quadro dos materiais mais utilizados.

---

### **Cálculo da carga elétrica**

Para efeito, será necessário o cálculo da carga elétrica que determina as interações eletromagnéticas e se define pela equação seguinte:

$$q = \frac{F}{kE} \quad (17)$$

em que :

$q$ : Carga elétrica [C]

$E$ : Campo de indução elétrico [V/m]

$F$ : Força [N]

### **Utilização da energia produzida a partir da Micro-hídrica predial**

A energia produzida a partir da tecnologia micro hídrica pode ser utilizada de duas formas:

Em auto-consumo ou em injeção na rede elétrica de serviço público (RESP), enquadrando-se na legislação em vigor. A título de exemplo podemos referir o DL 34/2011 que estipula que o produtor pode vender a totalidade da eletricidade produzida à rede elétrica de serviço público com tarifa bonificada, no entanto pode consumir essa eletricidade na sua instalação.

A micro-hídrica não seria rentável em funcionamento isolado, quer dizer sem outro sistema renovável. Assim tem de ser acoplado a outros tipos de instalações renováveis funcionando como sistema de apoio. A este respeito, apresentam-se no Anexo V as combinações com energia solar e eólica, constituindo três tipos de instalações denominadas: Solar-Eólica-Chuva (SWR), Eólica-Chuva (WR), e Solar-Chuva (SR).

Entende-se que nos dias chuvosos o rendimento dos painéis solar baixe por causa da nebulosidade e intempéries que impedem a radiação solar de chegar na superfície de captação, assim a micro-hídrica pode compensar esta quebra de potência, servindo de apoio ao sistema solar fotovoltaico ou pode haver combinação da chuva e do vento.

### **2-Vias de comunicação**

A segunda aplicação da micro-hídrica pluvial pode ser feita em vias de comunicação através dos componentes do seu sistema de drenagem, particularmente os seus órgãos de recolha.

O nosso estudo está baseado na drenagem longitudinal em pavimentos inclinados, para aproveitamento da energia cinética da água que chega a sarjetas e sumidouros. Também nas pontes se pode aplicar a tecnologia mas neste caso a aplicação será de tipo predial.

---

**Dispositivos de captação da água**

O Decreto-Lei 23/95 relativo a aprovação do regulamento geral dos sistemas públicos e prediais de distribuição de água e drenagem de água residuais, estabeleceu as seguintes dimensões para dispositivos de captação da água

**Dimensões das sarjetas**

Largura da abertura lateral: 45 cm

Altura da abertura lateral: 10 cm

**Dimensões dos Sumidouros**

Largura da grade 35 cm

Comprimento da grade 60 cm

Na prática, estas dimensões variam e a área útil do escoamento do sumidouro deve ter um valor mínimo de 1/3 da área total da grade

A eficiência hidráulica das sarjetas e sumidouros dependem da inclinação longitudinal e transversal do arruamento e da geometria da superfície da entrada.

No dimensionamento das sarjetas e sumidouros deve atender-se aos valores dos caudais superficiais a drenar, à capacidade de vazão dos coletores onde esses caudais afluem e ainda outros fatores tais como entupimentos.

**Dimensionamento dos órgãos de captação e cálculo do caudal**

Nas vias de comunicação, o cálculo do caudal está relacionado com o tipo do componente de recolha. O cálculo do caudal em sarjetas, com ou sem depressão, e do caudal nos sumidouros, pode ser efetuado utilizando a metodologia proposta no *Manual de saneamento básico* (DGRN 1991).

**Colocação do micro-turbina em sumidouros e sarjetas**

No sistema de drenagem das águas pluviais em vias de comunicação, existe mais detritos comparativamente ao sistema predial, no entanto os caudais são maiores nas vias de comunicação, para aproveitar da energia cinética da água pela micro-turbina, é necessário que exista um sistema rigoroso de filtragem.

Apresenta-se na figura 4.18 um sistema com sumidouro de lancil e instalação da micro-turbina, e na figura 4.19 um sistema com sarjeta e instalação da micro-turbina.

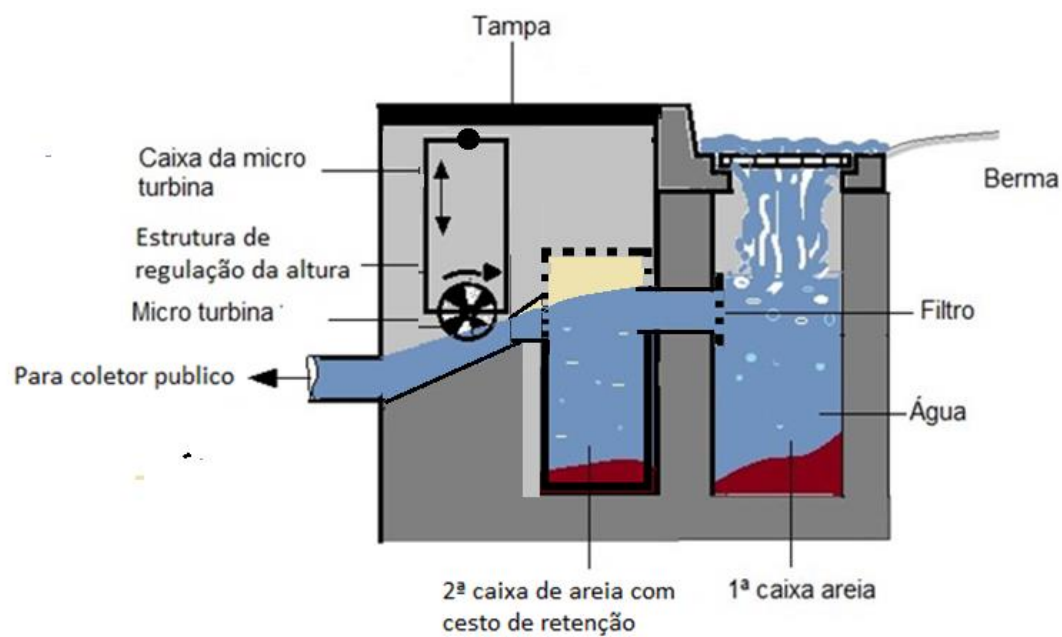


Figura 4. 18. Instalação da micro-turbina em sumidouro com cesto de retenção (adaptado de Bindzi. 2016)

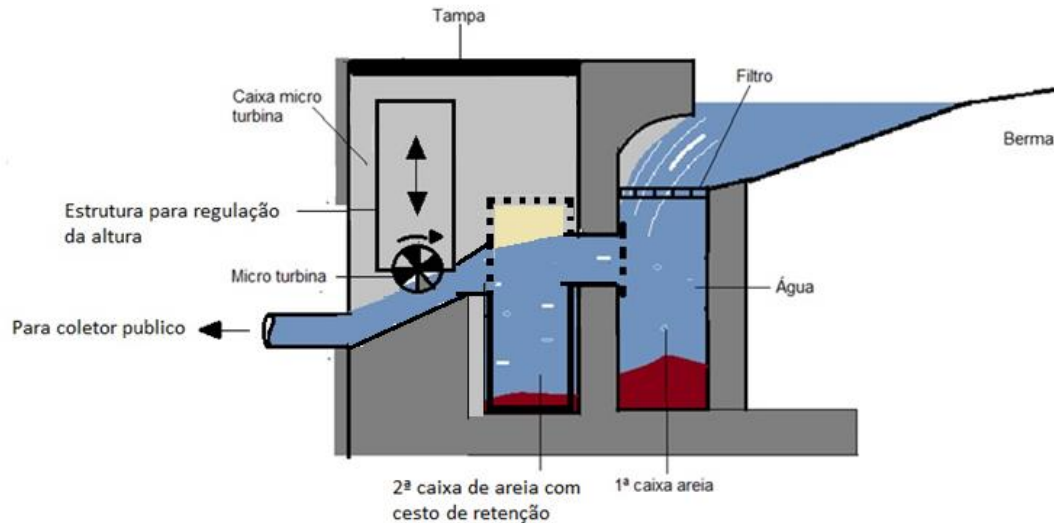


Figura 4. 19. Instalação da micro-turbina em sarjeta com cesto de retenção (adaptado de Bindzi. 2016)

---

**Funcionamento**

A água chega ao órgão de recolha e é submetida a uma primeira filtragem através da passagem nas grades do sumidouro, depois é recolhida num primeiro poço de decantação e passa a um segundo poço através de um canal (tubo) que possui um filtro à entrada. No segundo poço está colocado um cesto de retenção (vd. Anexo VI) que assegura que assegura a terceira filtragem. O cesto que tem um bico cónico fazendo ofício de saída por onde a água flui, podendo mesmo formar um jato e é nesta saída que está colocada a micro-turbina.

A micro-turbina está solidária com um sistema que permite a regulação da sua altura o que permite o seu ajustamento em relação ao caudal e ao fluxo da água na saída do bocal do cesto. A manutenção do sistema é fácil, bastará abrir a tampa, remover o cesto de retenção, limpar e voltar a colocar no sítio.

**Utilidade da energia produzida em vias de comunicação**

Sendo do domínio público, a energia aí produzida pode ser diretamente injetada na RESP o que reduz os custos ligados ao armazenamento (baterias, espaço) e à manutenção e ainda, de modo geral, ao investimento (poucos componentes eletrónicos).

**4.3. Válvula de energia potencial**

- **Constituintes da válvula**

A VEP é constituída de 5 partes que podem ser encaixadas ou montadas umas as outras através da união roscada.

**1-O corpo da válvula**

O corpo da válvula é constituído por um bloco maquinado com a forma de uma garrafa, furada axialmente de forma que o furo sofre de uma redução brusca de secção. A parte mais estreita do furo constitui o topo (entrada: ponto de ligação tubo de queda) e é roscada. A parte maior do furo tem em seu redor orifícios ou canais de saída de água que se junta nele na parte superior e a sua base é igualmente roscada, para encaixe da tampa, tal como acontece no exterior para ligação do funil. É dentro do furo que se colocam o êmbolo e a mola de compressão (vd figura 4.20).

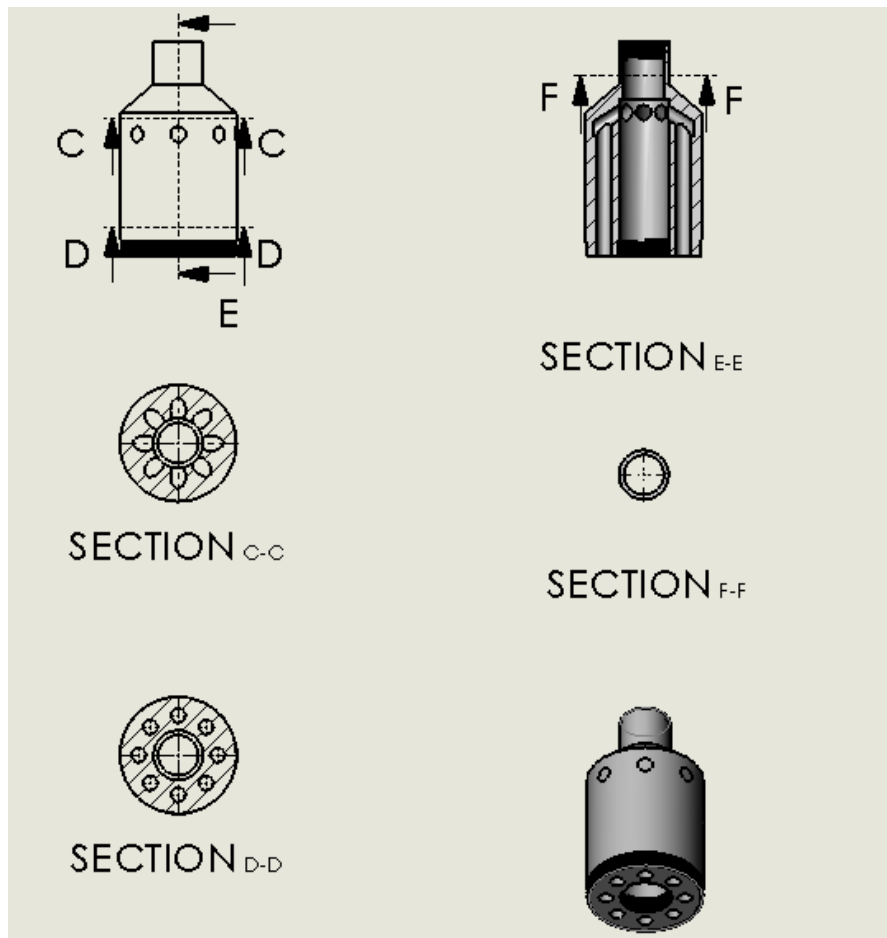


Figura 4. 20. Corpo da válvula de energia potencial (adaptado de Bindzi. 2016)

## 2-Funil

É um elemento cônico roscado nas suas duas extremidades, que se liga na base do corpo da válvula e tem como função de direcionar água na saída dos canais (vd figura 4.21).

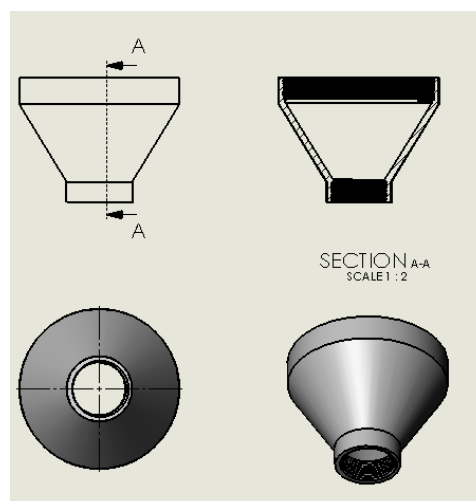


Figura 4. 21. Funil da válvula (adaptado de Bindzi. 2016)

### 3-Êmbolo

O êmbolo é uma peça que tem como função a vedação da válvula, com a sua cabeça no rebordo plano (fecha o diâmetro menor) e com seu rebordo circular lateral (fecha os orifícios ligados ao diâmetro maior). Tem ambas as extremidades circulares e perfil em escada colocando-se na zona de transição superior uma junta de vedação e na sua extremidade inferior a excrescência serve de encaixe a mola (vd figura 4.22).

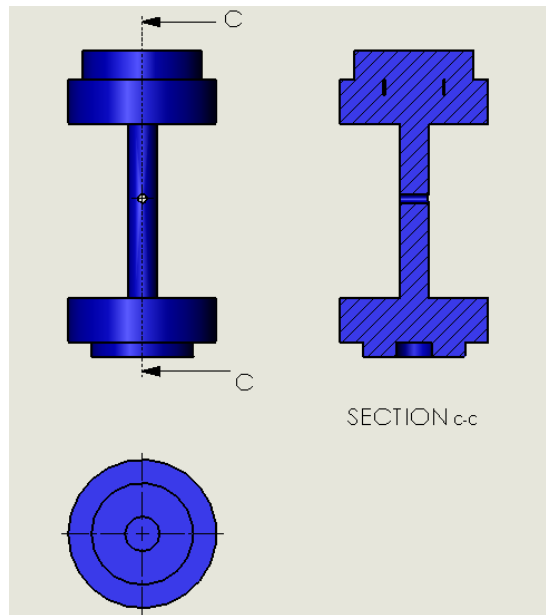


Figura 4. 22. Êmbolo da válvula (adaptado de Bindzi. 2016)

### 4-Tampa

A tampa é uma peça cilíndrica com dois níveis em escada, a sua parte externa é roscada para que encaixe no corpo da válvula, tem como função a regulação da mola de compressão, assim que tem na sua base um furo sextavado para encaixe da chave para apertar (diminuição da constante  $k$  da mola) ou abrir (aumento de  $k$ ) (vd figura 4.23). A excrescência serve para encaixar a mola.

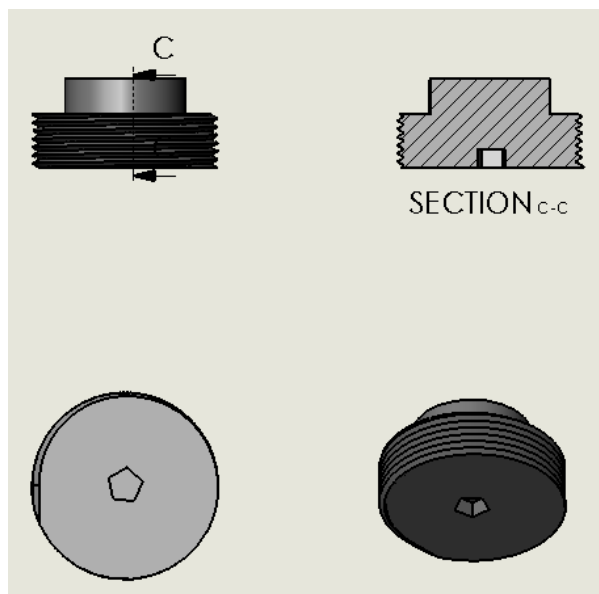


Figura 4. 23. Tampa da válvula (adaptado de Bindzi. 2016)

### 5-A mola de compressão

A mola de compressão é a chave do funcionamento da válvula, tem que ser projetada nas regras de uso e da arte. Os parâmetros fundamentais são o deslocamento, que nos leva a contante de rigidez ( $k$ ), o esforço (força exercida na mola). Perante a diversificação de prédios existentes (altura de queda) é necessário fazer um ajuste ao nível da válvula para sua adaptação caso a caso, ajuste que é feito regulando a tampa e logo da mola.

### Funcionamento da válvula

A válvula encontra-se normalmente fechada, pois a mola de compressão encontra-se no seu estado livre assim o êmbolo está empurrado por cima e veda (vd figura 4.24A). No período de chuva, a água começa a encher o tubo a partir de um certo peso dentro da coluna, a mola começa a ser comprimida, mas a água não sai da válvula porque os orifícios circunferenciais ainda são tapadas pela cabeça do êmbolo pelo seu rebordo lateral circular. Quando a coluna está cheia de água (maior aproveitamento da energia), o êmbolo já deve se encontrar no seu ponto baixo libertando os orifícios e água escorre livremente, a válvula esta aberta (vd figura 4.24B).

Dependendo da intensidade da chuva, a entrar água de forma permanente, a válvula ficará aberta com coluna cheia (situação ideal). Mas a entrar pouca água, a válvula irá fechar para proceder a retenção e quando as condições se reunirão, ela abrirá.



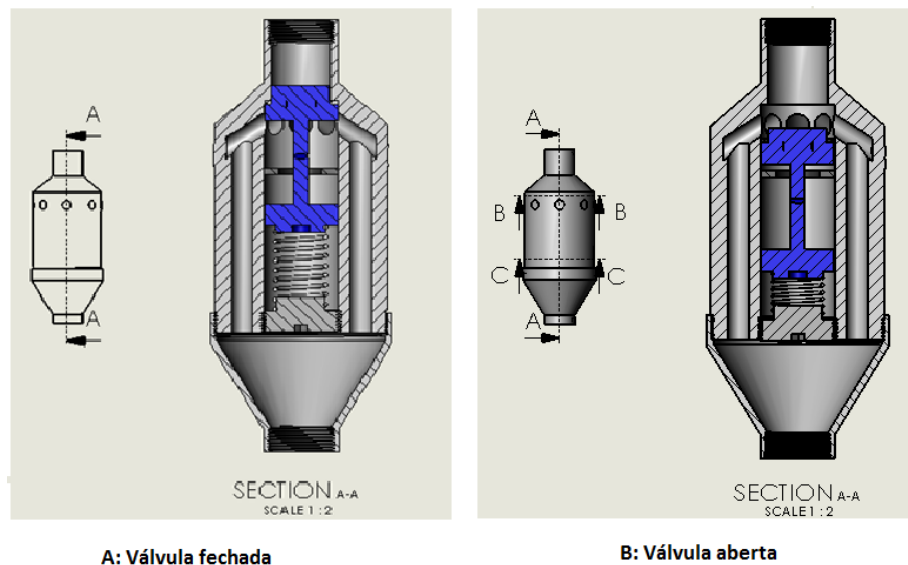


Figura 4. 24. Estado da válvula (adaptado de Bindzi. 2016)

#### 4.4. Infraestruturas de captação da água de chuva

##### 4.4.1. Infraestrutura Prediais

Na seção seguinte apresentam-se os principais elementos do sistema de drenagem gravítica das águas pluviais em edifícios (vd. Figura 4.25)

##### Tipo de drenagem

Basicamente existe três tipos de drenagens de água de chuva.

- Drenagem por gravidade: a recolha da água está feita numa parte elevada em relação à cota de ligação à rede pública.
- Drenagem com elevação: contrário a drenagem por gravidade; se a recolha está feita num nível inferior em relação à ligação ao coletor publico, a água tem ser elevada por meio mecânico.
- Drenagem mista: caso existe recolha simultânea em relação à ligação ao coletor público

O nosso sistema de aproveitamento da água pluvial está baseado na drenagem gravitacional.

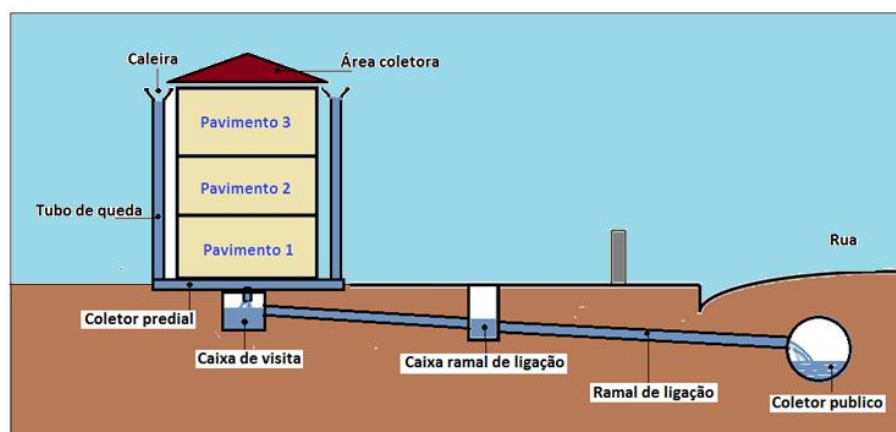


Figura 4. 25. Esquematização de um sistema típico de drenagem gravítica da água (adaptado de Bindzi. 2016)

## Componentes

**Caleira:** Peça côncava, tipicamente em metal, PVC, fibrocimento, betão, por onde correm líquidos, colocadas na horizontal em beirais ou em chãos para conduzir água de chuva evitando infiltrações. As caleiras recolhem água das coberturas e fazem escoar esta nos ramais de descarga ou tubo de queda.

**Ralos:** Dispositivo que tem como função impedir a passagem de matérias sólidas transportadas pelas águas residuais, estas devem ser removidas de forma periódica para evitar os entupimentos do órgão.

**Tubo de queda:** Tubo de captação da água recolhida pelas caleiras conduzindo a um troço vertical para o coletor predial ou despejando-a em sarjetas ou em sumidouros.

**Ramais de descarga:** Canalização de esgoto destinada a transportar líquidos provenientes dos aparelhos sanitários, para o tubo de queda ou coletor

**Coluna de ventilação:** se existir posto de bombagem, é necessário instalar uma coluna de ventilação que tem ser de alinhamento vertical, reta e de abertura direta para exterior.

**Coletor predial:** Quando não descarregada em sarjetas ou sumidouros, as águas drenadas nos tubos de queda são dirigidas aos coletores prediais que as dirigem depois ao ramal de ligação.

**Quedas guiadas:** Nas caixas de ligação onde são conectadas condutas horizontais a diferentes cotas, pode existir uma queda guiada para a transferência da água das cotas superiores para as inferiores.

**Ramais de ligação:** Recolhe as águas do coletor predial para o coletor público, este constitui o último elemento do sistema de drenagem predial.

Entre o ramal de ligação e o coletor predial existe uma caixa ramal de ligação situada no exterior da propriedade e serve também de inspeção por parte das entidades gestoras, evitando assim a necessidade de entrar em propriedades privadas.

**Caixa de areia:** É um dispositivo de rutura ou de descontinuidade que faz a sedimentação das partículas solidas transportada pela água evitando assim danificação da rede.

**Coletor:** Tem por finalidade assegurar a condução de águas residuais domésticas, industriais ou pluviais, provenientes das edificações ou da via pública, a destino final adequado.

**Cálculo da área de captação nas infraestruturas prediais**

A área de qualquer exploração define-se em relação à projeção de seus planos horizontais.

Ilustramos o cálculo com 4 tipos de telhados (vd. Figura 4.26). Os cálculos são resumidos no Quadro (4.3)

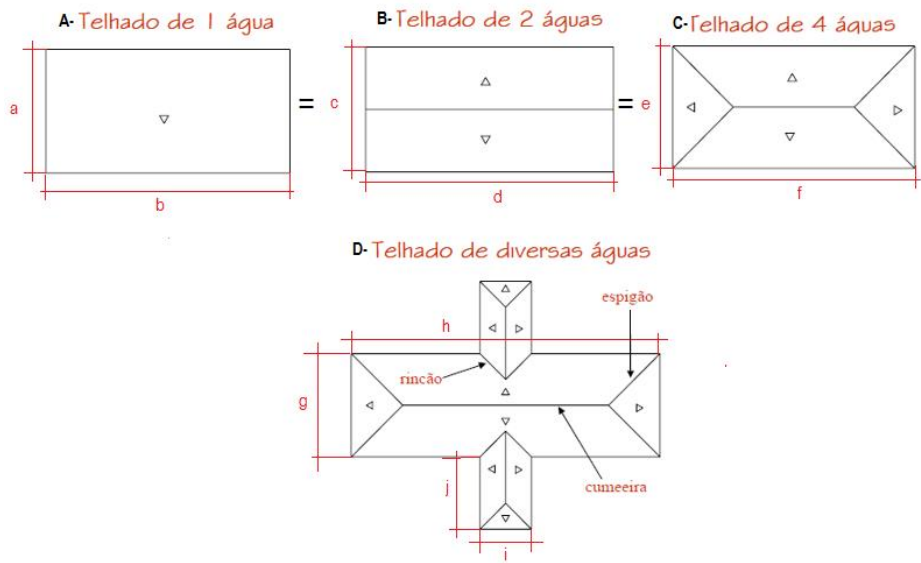


Figura 4. 26. lustração de algumas áreas de captação (adaptado de Bindzi. 2016)

Quadro 4. 3. Cálculo de algumas áreas de telhados (adaptado de Bindzi. 2016)

Desenho	Área [m <sup>2</sup> ]
A,B,C	$a*b=c*d=e*f$
D	$g*h+2*(i*j)$

**Cálculo do caudal nas infraestruturas prediais**

O caudal depende da área de recolha, do coeficiente de escoamento, da intensidade da pluviometria. O cálculo do caudal tem de ser feito com base no regulamento geral (DL nº 23/95 de 23 de Agosto).

$$Q_c = \frac{C * I * A_r}{3.6} \quad (18)$$

em que:

C: Coeficiente de escoamento-adm

A<sub>r</sub>: Área de contribuição para escoamento na projeção horizontal [km<sup>2</sup>]

I: Intensidade de precipitação [mm/h]

#### 4.4.2. Infraestruturas de comunicação

##### Tipos de drenagens

A drenagem da água nas infraestruturas de comunicação divide-se em dois tipos:

- A drenagem subterrânea
- A drenagem superficial que, por sua vez, se divide em dois grupos
  - Drenagem transversal que dá continuidade a escoamento natural de cursos de água atravessado pelas vias de comunicação (pontes, aquedutos, pontões)
  - Drenagem longitudinal que garante a captação e o escoamento das águas pluviais caídas na plataforma, capta e conduz as águas pluviais geradas nos taludes de escavações por forma a controlar a ação erosiva do escoamento e a evitar o acesso dessas águas à plataforma, capta e conduz as águas pluviais geradas nos terrenos limítrofes e que drenam para a estrada.

O nosso estudo se limitará à drenagem superficial, com aproveitamento dos relevos das vias de comunicações, das pontes com sistemas de drenagem por gravidade como já foi visto nas infraestruturas prediais.

##### Dispositivos do sistema

**Valeta:** Pequena vala para escoamento de águas, à beira de ruas ou estradas, pode ser de perfil triangular, circular, semicircular, trapezoidal, retangular.

**Sarjeta:** Dispositivo com entrada lateral das águas de escorrência superficial, normalmente instaladas no passeio da via pública.

**Boca de lobo:** Escoadouro nas ruas pela água.

**Sumidouros:** Os sumidouros são dispositivos com entrada superior das águas de escorrência e implicam necessariamente a existência de uma grade que permita a entrada da água sem prejudicar a circulação rodoviária e usualmente implantados no pavimento da via pública.

**Bacia hidrográfica de uma dada seção:** Área drenante, definida topograficamente por um curso de água ou por um sistema interligado de cursos de água tal que todos os caudais gerados sejam descarregados nessa seção.

**Área de drenagem ou área da bacia hidrográfica:** Área plana em projeção horizontal, limitada pelas linhas de separação de água.

Normalmente obtida em mapas de planimetria numa escala da ordem de 1:25000

À semelhança da infraestrutura predial existam também câmara ou caixa de visita, caixa de ligação, coletor.

### Descrição do sistema

Nesta seção apresenta-se o princípio de recolha das águas residuais nas vias de comunicação (vd. Figura 4.27).

A água de chuva escorre na superfície da plataforma que serve de área de drenagem e esta é recolhida no bordo da estrada por um dos órgãos longitudinal por exemplo sumidouro (vd. Figura 4.28.a), ou pela sarjeta (vd. Figura 4.28.b); água cai num ralo e será drenada no coletor da rede pública.

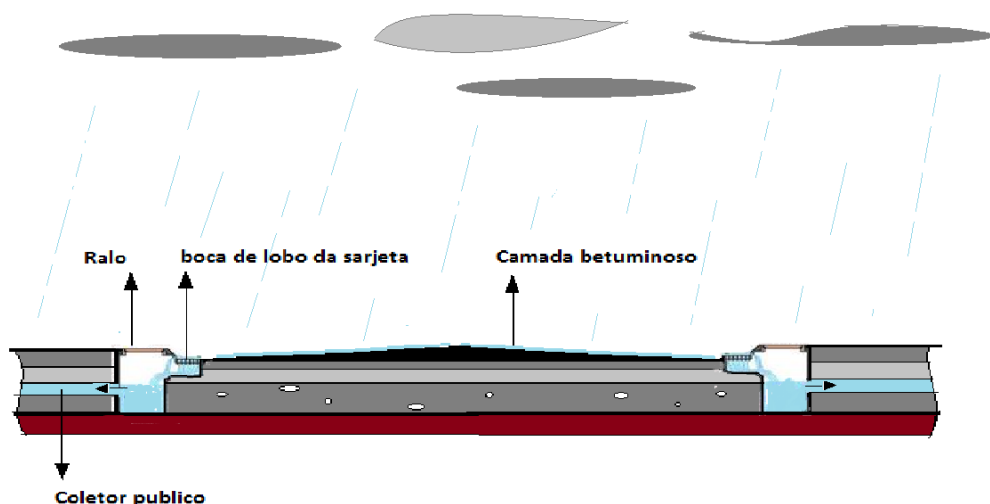


Figura 4. 27. Princípio de recolha e escoamento da água numa estrada (adaptado de Bindzi. 2016)

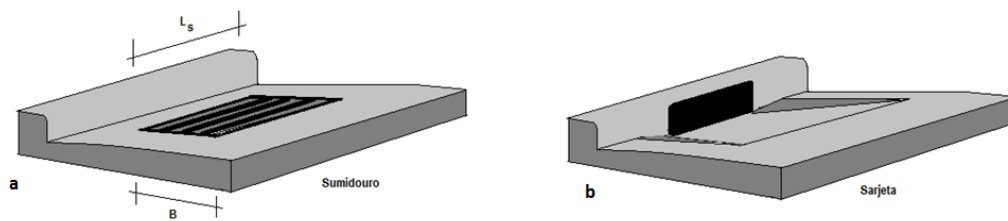


Figura 4. 28. Esquematização dos órgãos de recolha longitudinal: a-sumidouro; b-Sarjeta (adaptado de Bindzi. 2016)

### Cálculo das áreas em vias de comunicação

Apresenta-se no quadro 4.4 elementos que permitem o cálculo das áreas e das inclinações nas vias de comunicação, informações uteis no cálculo dos caudais

Quadro 4. 4. Largura das bermas pavimentadas (adaptado de INIR, 2015)

Tipo de estrada		Velocidade base (km/h)	Largura das vias (m)	Bermas pavimentadas	
				Esquerda(m)	Direita (m)
Dupla faixa de rodagem		$\geq 100$	3.75	1.0	3.0
		$< 100$	3.50	1.0	3.0
Faixa única	Via expresso	$\geq 80$	3.75	2.5	
	EN	$\geq 80$	3.5	2.5(a)	
	EN	$< 80$	3.0(b)	1.5	

Para volumes horários de projeto  $< 200$  veículos é de 1.5 m

Para volumes horários de projeto  $< 300$  veículos. Senão é de 3.5 m

### Período de retorno em vias de comunicação para drenagem longitudinal

Conforme o Manual de Drenagem Superficial em Vias de Comunicações, elaborado pelo IEP 2001, os períodos de retorno mínimos a adotarem nas obras de drenagem longitudinal, tendo como único critério a importância da via, são apresentados no quadro 4.5. em que significa TMDA: Trafego Medio Dário Anual

Quadro 4. 5. Período de retorno mínimos em obras de drenagem longitudinal

Tipo de via	Período de retorno	Observações
Estadas regionais e municipais complementares	5-10	-
Estradas nacionais, estradas regionais ou estradas municipais com TMDA > 250	10	-
IP (s), IC(s), ou outras estradas com TMDA > 2000	10-20	Caso seja adotado o valor de 10 anos deve fazer-se a verificação de que para T=20 anos a plataforma não é atingida

#### 4.5. Gerador elétrico-Alternador síncrono

O gerador é a máquina que transforma energia mecânica em energia elétrica através do movimento de rotação de bobinas de fio dentro de um campo magnético. (vd. Figura 4.37)

Existem geradores de indução ou assíncronos, geradores síncronos e geradores de corrente contínua. O nosso estudo abrange a gama de geradores síncronos e de corrente contínua, pelo que o desenvolvimento das noções a seguir são limitadas a estes dois tipos de geradores.

A máquina síncrona, alternador quando funciona em geratriz fornece corrente alternativa. Em funcionamento motor, sua frequência de rotação está imposta pela frequência da corrente alternativa que alimenta o indutor.

O alternador é um dos componentes mais importantes na produção da eletricidade, este dispositivo aparece em quase todas tecnologias de produção de eletricidade excluindo geradores fotovoltaicos e de célula de combustível. Apresenta-se a seguir a tecnologia deste equipamento.

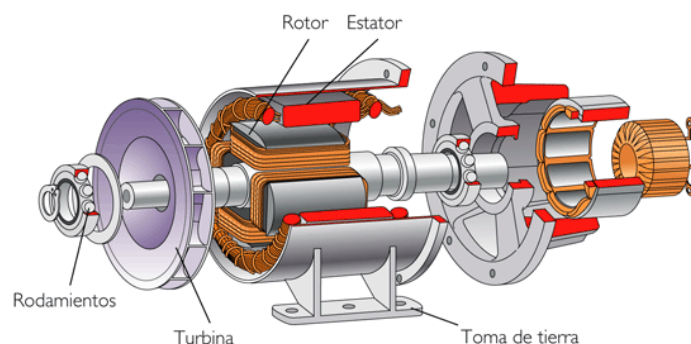


Figura 4. 29. Esquema de um gerador elétrico (adaptado de Manttogeneradores, 2015)

### Princípio do alternador

Os fenómenos que ocorrem para a transformação da energia mecânica ( $T, \Omega$ ) pela geratriz (turbina) em energia elétrica ( $V, I$ ) de frequência ( $f$ ) são resumidos de forma seguinte:

Um íman roda numa frequência ( $n$ ), a espiral está atravessada pelo um fluxo variável,  $\Theta(t)$ , daí a criação de uma força eletromotriz induta  $e(t) = \frac{d\Theta}{dt}$  (vd. Figura 4.30)

A frequência desta F.E.M é:  $f=n$  e  $\Omega=\omega$

$\Omega$ : velocidade de rotação do rotor (Íman) [rpm]

$\omega$ : Pulsação da f. e. m sinusoidal induzida  $\left[\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right]$

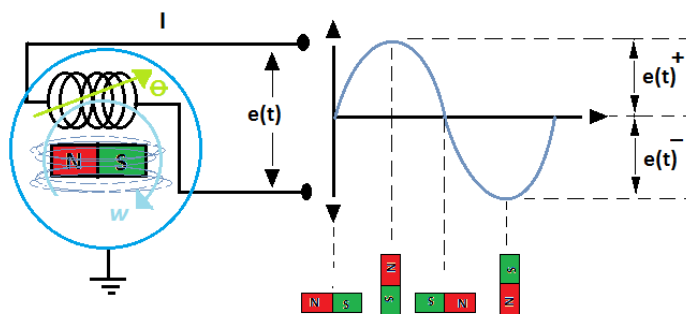


Figura 4. 30. Ilustração funcionamento alternador em monofásico com criação da força eletromotriz  $e(t)$  (adaptado de Bindzi. 2016)

### Constituição

O alternador é constituído por três partes principais: o indutor, o induzido, e a excitatriz.

**1-O indutor** é o rotor onde são colocados os pólos indutores de forma alternada, existem dois tipos de pólos:

- Pólos lisos ou turboalternador no rotor cilíndrico utilizados nas altas velocidades (Figura 4.31.a), o rotor é um cilindro solido no qual foram maquinadas entalhes, tem geralmente dois pólos.
- Pólos salientes usados nas baixas velocidades (Figura 4.31.b), é um eletroímã cujos polos são alternados na direção Norte-Sul, os enrolamentos são alimentados em corrente continua e são colocados em torno dos núcleos dos pólos. O número dos pólos é sempre par e varia segundo a máquina.



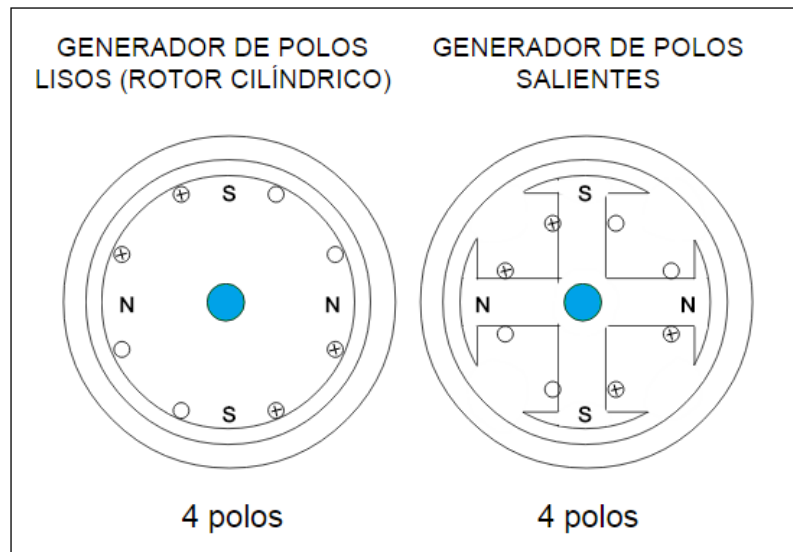


Figura 4. 31. Tipos de rotor: a-Cilíndrico; b-Salientes (Adaptado de Gómez Palacio, Durango, 2009)

**2-O induzido** é o estator que é constituído por chapas com ranhuras sobrepostas destinadas a colocação dos enrolamentos, na maioria dos casos é trifásico e é a sede de uma F.E.M induzida, está submetido a um fluxo rotativo de modo que e sede de histereses e de corrente de Foucault, é para reduzir estas correntes de Foucault que o estator está chapeado.

- A F.E.M Induzida é proporcional ao fluxo útil por pólo, ou seja:

Para um alternador com  $p$  pares de pólos, e  $Z$  condutores ativos por fase, que rodem a uma velocidade  $n$  por segundo e com um fluxo  $\varphi$  por pólo, a f.e.m  $E$  gerada por fase será:

$$E = k_Z P n \varphi \quad (19)$$

onde :

$k_p$ : coeficiente de  $K_{app} \approx 2.2 * k_D * k_F$  com  $k_D \approx 0.7$  ( factor de distribuição) e  $k_F \approx 1.05$  (fator de forma)

**2-Excitatriz** é um dínamo montado no mesmo eixo do alternador destinado a fornecer a corrente continua ao indutor

### Cálculo da velocidade de rotação-N

Uma vez conhecida a velocidade máxima, é necessário escolher uma velocidade de rotação compatível com o alternador, ou seja velocidade de sincronismo limitando o número de pares de polos.

$$N = \frac{60f}{N_{pp}} \quad (20)$$

em que:

N: Velocidade de rotação [rpm]

f: Frequencia da rede [Hz]

N<sub>pp</sub>: Número de pares de polos

Apresenta-se no quadro 4.6 a relação entre velocidade, frequência e número de pólos

Quadro 4. 6. Velocidades relacionadas com número de pólos e frequência (adaptado de Energie +, 2015)

Numero de pólos	Velocidade [rpm]	
	Frequência [50 Hz]	Frequência [60 Hz]
2	3000	3600
4	1500	1800
6	1000	1200
8	750	900
10	600	720
12	500	600

### Balanço das potências

- **Em monofásico:**  $P_U = UI \cos \phi$  (21)

- **Em trifásico:**  $P_U = UI\sqrt{3} \cos \phi$  (22)

em que:

P<sub>U</sub>: Potência util [W]

cosϕ: Factor de potência da carga

I: Intensidade de corrente no induzido [A]

U: Tensão aos terminais [V]

### Balanço das perdas

Existe basicamente três tipos de perdas:

- As perdas coletivas
  - Perdas mecânicas (pm) dependem a pena da frequência de rotação.

- Perdas no ferro (pf) dependem de frequência do valor máximo do fluxo

Estas perdas são medidas por ensaio em vazio onde a máquina roda à frequência de rotação máxima, numa tensão igual a aquela que teria em carga.

- As perdas por efeito Joule

- No indutor-  $p_{ji}$ :

$$p_{ji} = U_e I_e \quad [W] \quad (23)$$

onde:  $U_e$  é a tensão nos terminais do indutor[V] e  $I_e$  Intensidade de corrente de excitação[A]

- No Induzido-  $p_{j_{In}}$ :

- ✓ Em monofásico:

$$p_{j_{In.m}} = r I^2 \quad (24)$$

Onde:  $r$  é a resistência da bobina induzida [ $\Omega$ ] e  $I$  Intensidade eficaz do corrente fornecido por induzido [A]

- ✓ Em trifásico:

$$p_{j_{In.t}} = \frac{3}{2} r I^2 \quad (25)$$

Onde  $r$  é a resistência nos terminais da fase da maquina [ $\Omega$ ] e Intensidade eficaz do corrente da rede[A]

### Rendimento

- **Em trifásico**

$$\eta = \frac{P_U}{P_a} = \frac{UI\sqrt{3}\cos\phi}{UI\sqrt{3}\cos\phi + p_m + p_{ji} + p_{j_{In.t}}} \quad (26)$$

- **Em Monofásico**

$$\eta = \frac{P_U}{P_a} = \frac{UI\cos\phi}{UI\cos\phi + p_m + p_{ji} + p_{j_{In.m}}} \quad (27)$$

## Capítulo 5.Caso de estudo

### 5.1. Caso do prédio

Pretende-se realizar um projeto de aproveitamento da energia pluvial num prédio de 9 andares na zona de Viana do Castelo.

#### Dados

Região pluviométrica: A [Figura 3.10]

Período de retorno: 5 anos [Quadro 3.3]

Parâmetro a: 259.26 [Quadro 3.2]

Parâmetro b: -0.562 [Quadro 3.2]

Duração: 5 min [Quadro 3.4]

Coefficiente de escoamento: 0.95 [Quadro 3.1]

Intensidade de precipitação: 104.93 mm/h [Quadro 3.4]

Área de recolha:  $30 * 15 = 450 \text{ m}^2$

Altura total do prédio: 30m

Tipo de ligação do tubo de queda: Ligação direta a caleira, não há ramais de descarga

Número de orifícios de descarga: 6

Altura da queda: 27 m

Diâmetro do tubo de queda: 100 mm

Material do tubo de queda: Termoplástico (PVC)

Acessórios: Ralo

#### Cálculos

##### ○ Caudal de recolha

$$Q_c = \frac{C \cdot I \cdot A_r}{3.6} = \frac{0.95 \cdot 104.93 \cdot (450 \cdot 10^{-6})}{3.6} = 0.012 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow Q_c = 0.012 \cdot 1000 = \mathbf{12.46 \text{ l/s}}$$

##### ○ Potência de queda

$$P_Q = Q \cdot \rho \cdot g \cdot h = 0.012 \cdot 1000 \cdot 9.81 \cdot 27 = \mathbf{3300 \text{ W}}$$

##### ○ Massa de água contida no tubo

Diâmetro do tubo: 100 mm = 0.1m → raio = 0.05 m

Área tubo:  $A = \pi r^2 \text{ [m}^2\text{]}$

Volume tubo:  $A \cdot h \text{ [m}^3\text{]}$ , com h altura de queda [m]

#### Calculando

$$A = \pi(0.05)^2 = \mathbf{0.00785 \text{ m}^2}$$

$$V = 0.00785 * 27 = \mathbf{0.211 \text{ m}^3}$$

Massa volúmica de água  $\rho = 1000 \text{ Kg/m}^3$

Logo:  $1000 \text{ Kg} \rightarrow 1 \text{ m}^3$

$$X \text{ Kg} \rightarrow 0.211 \text{ m}^3$$

$$X = 0.211 * 1000 = \mathbf{211 \text{ Kg de água}}$$

- **Tempo necessário para enchimento de toda coluna de 27 m**

$$\text{Caudal} = 0.012 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Volume do tubo} = 0.211 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Tempo} = \frac{0.211}{0.012} = \mathbf{17.58 \text{ sec}}$$

- **Pressão exercida na zona baixa do tubo** (Ponto de instalação da micro-turbina)

$$P = \rho gh = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 27 \text{ m} = 264870 \text{ Pa} = \mathbf{2.64 \text{ bar}}$$

- **Velocidade**

$$V_2 = \sqrt{2 * 9.81 * 27} = \mathbf{23.01 \text{ m/s}}$$

### Nota

Temos dois caudais; o de recolha e o caudal dentro do tubo de queda ( $Q_{Tq}$ ) a determinar.

Por definição o caudal é o produto da velocidade com área da seção transversal do tubo

$$Q = V_2 * A_{st} = 23.01 * 0.00785 = 0.180 \text{ m}^3/\text{s} = 180 \text{ l/s}$$

- **Piezoelectricidade**

Definir a tensão e intensidade da válvula constituída com um cristal piezoelétrico ( $\text{Quartzo } d_{14}$ ) com características seguintes:

Coeficiente  $k = 0.7$  (vd. Quadro anexo IV:  $k_{33}$ -NCE57)

Espessura do cristal:  $h = 3 * 10^{-3} \text{ m}$

Diâmetro do material:  $d = 16 \text{ mm} \rightarrow r \text{ (raio)} = 8 \text{ mm}$

$$\text{Área}_{(\text{circular})} = r^2 * \pi$$

$$= (8 * 10^{-3})^2 * 3.14 = 2.009 * 10^{-4}$$

$$P = 2 \text{ bar} = 200000 \text{ Pa}$$

### Determinação da força

$$\text{Logo } F = 200000 * 2.009 * 10^{-4} = 40.1 \text{ N}$$

### Cálculo da tensão U

Aplicando (1)

$$U = 0.7 * 3 * 10^{-3} * 210^5 = 420 \text{ V}$$

### Cálculo do campo de Indução E

$E[\text{V/m}] \rightarrow U/h$  com U: Tensão [V] e h espessura do material piezoelétrico [m]

$$E = 420/3 \cdot 10^{-3} = 140000 \text{ V/m}$$

### Cálculo da carga elétrica Q

Aplicando (2)

$$Q = \frac{40.1}{0.7 \cdot 140000} = 4.09 \cdot 10^{-4} \text{ s.A [s.A = C = Colomb]}$$

### Cálculo da intensidade I

$$I = \frac{Q}{t} [\text{A}]$$

Vamos supor a duração da pressão exercida no material com duração de 20 s

Logo:

$$I = \frac{4.09 \cdot 10^{-4}}{20} = 2.045 \cdot 10^{-5} \text{ A} = 0.02045 \text{ mA}$$

### Cálculo da potência P

$$P = UI [\text{W}]$$

$$P = 420 \cdot 2.045 \cdot 10^{-5} = 0.0085 \text{ W} = 8.589 \text{ mW}$$

### Instalação

Os procedimentos dependerão dos tipos de edifícios. Nas figuras 5.1 e 5.2 ilustram-se as etapas a seguir.

- **Edifícios existentes:** (vd. Figura 5.1)

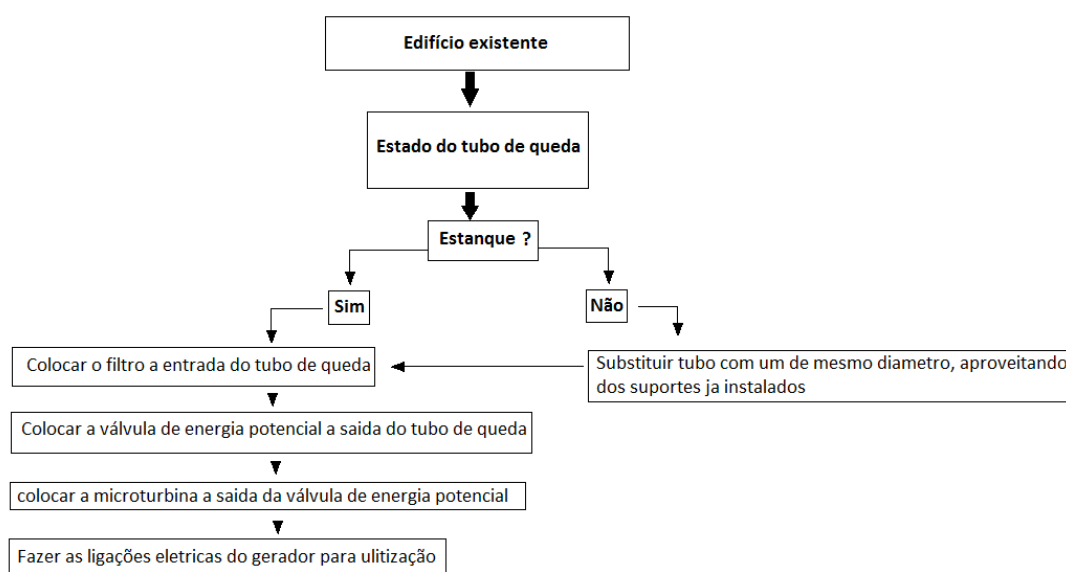


Figura 5. 1. Etapas para prédios existentes (adaptado de Bindzi. 2016)

- **Edifícios Novos:** (vd. Figura 5.2)

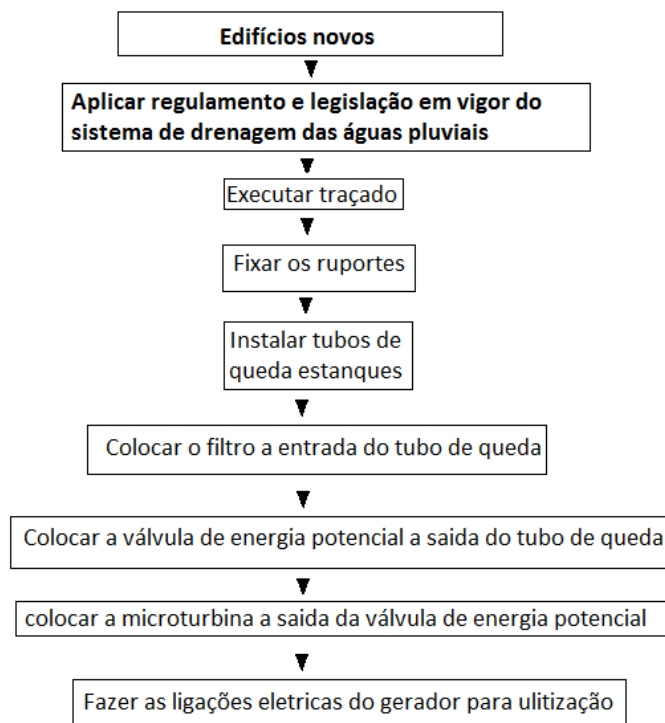


Figura 5. 2. Etapas para prédios novos (adaptado de Bindzi. 2016)

### Manutenção

A manutenção do sistema é fácil e não precisa de mão-de-obra qualificada, a acessibilidade à instalação é fácil, para o acesso ao filtro que é o componente que está colocado na zona do telhado, à entrada do tubo de queda, necessitará o acesso ao telhado e uso de equipamento de segurança como capacete, cinta, etc. A turbina e a válvula, instaladas no exterior do prédio não apresentam nenhuma restrição para seu acesso.

No caso de auto consumo, prever um local técnico onde serão colocados os equipamentos aferentes, tais como as baterias e outros componentes eletrónicos.

A manutenção pode ser feita no início da estação de chuva e consistirá em inspecionar o filtro assegurando assim que este não está entupido.

Também pode se remover o kit constituído pela válvula e microturbina no final da estação de chuva e voltar a colocá-lo no início da mesma.

### Segurança

Prever um sistema contra o transbordamento na caleira, pois os componentes instalados no tubo de queda constituem perdas de carga; à partida pode-se atingir um ponto onde a reação da válvula se atrase em relação a quantidade da água que entra na coluna, o que irá causar um transbordamento que terá consequências negativas no prédio. Para evitar que isso aconteça basta instalar um segundo tubo (vd. Figura 5.3)

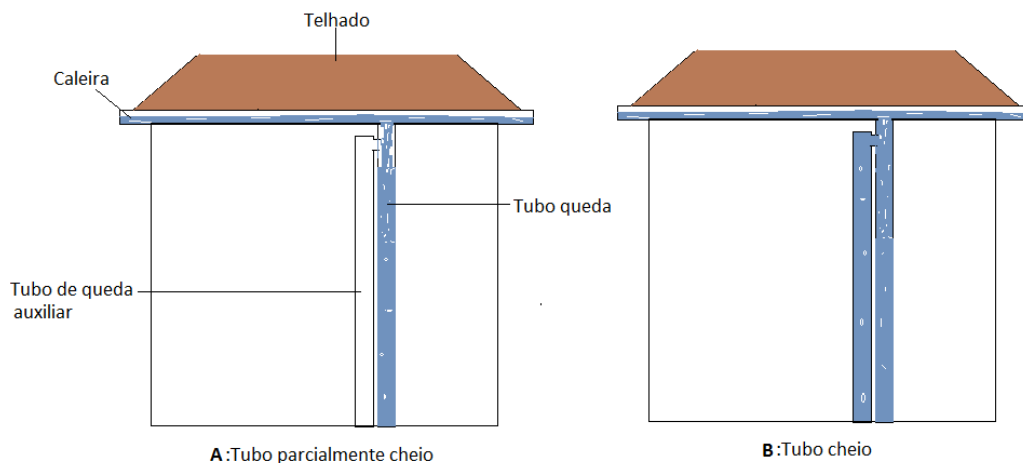


Figura 5. 3. Sistema anti transbordamento (adaptado de Bindzi. 2016)

### Inconvenientes da válvula de energia potencial

A válvula de energia potencial tem os inconvenientes seguintes:

- Perdas de carga
- Risco de entupimento dos canais
- Atraso a abertura e fechadura
- Dissipação da energia na mola de compressão

Estes inconvenientes irão baixar a produção da energia na micro turbina. Para resolver estes problemas, o ideal será de usar uma válvula solenoide tudo ou nada de comando pressostático. (vd. Figura 5.4)

### Fonte de alimentação e comando da válvula solenoide

#### 1-Fonte de alimentação

Dependendo do tipo de sistema:

- Autoconsumo

Usar energia armazenada (bateria) para alimentação da válvula



- Sistema ligado a RESP

## Usar energia do próprio edifício para alimentar a válvula

## 2. Comando

O comando da válvula solenoide será feito pelo pressostáto diferencial. O pressostáto tem 2 contatos (vd. Figura 6.4). Quando se atinge a pressão desejada (1 bar por exemplo), o contato 1-4 fecha e 1-2 abre, logo que a pressão baixe, o fenómeno contrário acontece assim a válvula solenoide tem que ser fechada em repouso. A fase será ligada no contato 1-4.

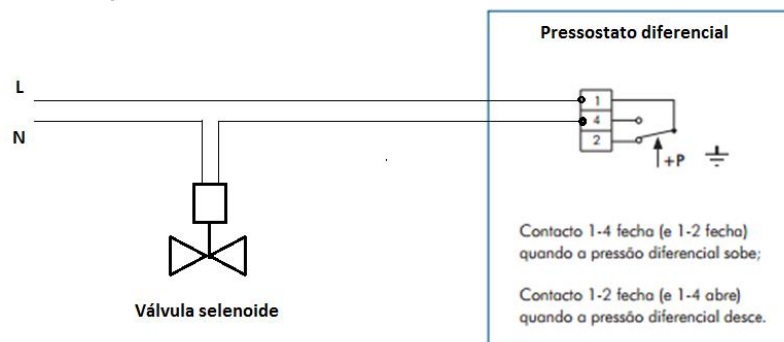


Figura 5. 4. Esquema elétrico de ligação válvula selenoide-Pressostato (adaptado de Bindzi. 2016)

### Cálculo da energia consumida pela válvula selenóide

$P=UI$  com U: tensão [V] e I: corrente [A]

### Características da válvula

U=12 V e I=10 A

$$P = 12 \times 10 = 120 \text{ W}$$

### Duração de funcionamento da válvula

Tempo de enchimento do tubo=18 segundos

Duração da chuva 10 h=36000 segundos

Duração de um ciclo (enchimento esvaziamento)  $18 \times 2 = 36$  segundos

Tempo de funcionamento da válvula:  $36000:36=1000$  segundos= 0.27 h

### Energia consumida pela válvula

$$120 \times 0.277 = 33.33 \text{ Wh/dia}$$

### Cálculo da energia produzida pela micro-turbina

Com 13 l/s podemos escolher a micro-turbina Pelton (ver anexo C) que produz 1000W

Assumimos a duração da chuvada de 10h/dia (durante estação de chuva) logo:

$$E_{\text{dia}} = 1000 * 10 * 0.75 = 7500 \text{ Wh/dia}$$

Multiplicando com o número de dia de chuva (153-Viana de Castelo)

$$E_{An}=7500*153=1147.5\text{kWh/Ano}$$

**Nota:** o consumo da válvula solenoide representa 0.0044% da produção diária da turbina pode se concluir que é muito eficiente usar a regulação pressostatica com válvula solenoide.

## 5.2.Caso via de comunicação

Entende se estudar o aproveitamento da energia de água numa estrada situada em Viana do Castelo, estudando a capacidade de captação da água em quatro dispositivos de entrada: Sarjeta sem depressão, sarjeta com depressão, sumidouro sem depressão, sumidouro com depressão.

### Dados

Região: A

Tipo de drenagem: drenagem longitudinal e transversal

Período de retorno: 10 anos (quadro 4.5)

Coefficiente de escoamento:(0.90 quadro 3.1)

Intensidade de precipitação I= 120.14mm/h (quadro3.4)

Tipo de estrada: dupla via largura  $3.75*2=7.5$  m (quadro 4.4)

Extensão do percurso do escoamento (\*fração em declive):430m

\*como foi dito o nosso estudo tem mais interesse em drenagem longitudinal com relevos (declive)

### Cálculos

#### ○ Caudal de cálculo

$$Q_P = \frac{CIA}{3.6} = \frac{0.9 * 120.14 * (420 * 7.5 * 10^{-6})}{3.6} = 0.094\text{m}^3/\text{s} = 94.61 \text{ l/s}$$

#### ○ Tempo de concentração $t_c$

$P_2=80.09$  (quadro 5.4) -Precipitação em 24h [mm] que corresponde ao período de retorno de 2 anos

$$n=0.016 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s (pavimentos betuminosos)}$$

$$j= 3\%$$

L : Extensão do percurso do escoamento

$$t_c = 5.476 * \frac{n^{0.8} L^{0.8}}{P_2^{0.5} j^{0.2}} = 5.476 * \frac{0.016^{0.8} * 1000^{0.8}}{80.09^{0.5} * 0.03^{0.2}} = 11.3 \text{ min}$$

### Estudo da capacidade dos órgãos de entrada

- **Estudo da capacidade de entrada na sarjeta sem depressão**

Referenciando se a figura da sarjeta sem depressão (vd anexo IX A)

**Dados**

Caudal afluyente: 94.61 l/s (calculado anteriormente)

Inclinação longitudinal: 3%

Inclinação transversal: 2.5%

Coefficiente de rugosidade de Manning Strickler:  $n=0.016 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$

$K=0.20$

L: comprimento da boca da sarjeta=0.5m

**Cálculos**

Sarjeta com comprimento de abertura  $L=0.5 \text{ m}$

- **Cálculo de  $\theta_0$**

$$\theta_0 = \frac{\pi}{2} - \arctg(2.5\%) = 1.546 \text{ rad} = \frac{180}{\pi} * 1.546 \rightarrow \theta_0 = 88.62^\circ \rightarrow \tg(88.62) = 41.51$$

- **Cálculo de  $y_0$**

$$y_0 = \frac{1.542 \left( Q^{\frac{3}{8}} n^{\frac{3}{8}} \right)}{\tg \theta_0^{\frac{3}{8}} j^{\frac{3}{16}}} = \frac{1.542 ((0.094)^{3/8} (0.016)^{3/8})}{(41.51)^{3/8} (0.03)^{3/16}} = \frac{0.1347}{2.095} = 0.064 \text{ m}$$

- **Cálculo do caudal**

$$Q = L k y_0^{1.5} g^{0.5} = 0.5 * 0.20 * 0.064^{3/2} * 9.81^{1/2} = 0.0051 \text{ m}^3/\text{s} = 5.10 \text{ l/s}$$

- **Cálculo da eficiência da interseção (E)**

Eficiência da interseção está definida como sendo a relação entre o caudal captado e o

$$\text{afluyente: } E = \frac{Q_{\text{captado}}}{Q_{\text{afluyente}}}$$

Aplicando

$$E = \frac{5.10}{94.61} = 0.054 = 5.4\%$$

- O caudal captado representa 1/18 do caudal afluyente: a capacidade de escoamento da sarjeta sem depressão não é eficiente.

- **Estudo da capacidade de entrada na sarjeta com depressão**

**Dados**

Referenciando se a figura da sarjeta com depressão (vd anexo IX B)

$L_1=0.50\text{m}$ ;  $L_2=0.20\text{m}$ ;  $a=b=0.05\text{m}$ ;  $B_1=0.5\text{m}$ ;  $K=0.20$

$$y_0 = 0.064m; \theta_0 = 88.62^\circ \text{ (cálculos anteriores)}$$

○ **Cálculo de  $\theta$**

$$\theta = \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{B_1}{\frac{B_1}{\operatorname{tg}(\theta_0)} + a} \right) = \arctan \left( \frac{0.5}{\frac{0.5}{41.51} + 0.05} \right) = \arctan \left( \frac{0.5}{0.062} \right) = \arctan(8.06) = 1.447 \text{ rad} \rightarrow \theta = 83^\circ \text{ e } \operatorname{tg}(\theta) = 8.14$$

○ **Cálculo da seção de escoamento  $A_0$**

$$A_0 = y_0^2 \frac{\operatorname{tg} \theta_0}{2} = 0.064^2 \frac{41.51}{2} = \mathbf{0.085 \text{ m}^2}$$

○ **Cálculo da velocidade  $V_0$**

$$V_0 = \frac{Q_0}{A_0} = \frac{0.094}{0.085} = \mathbf{1.10 \text{ m/s}}$$

○ **Cálculo da altura de escoamento  $y$  e da velocidade de escoamento correspondente na extremidade de montante da sarjeta**

A equação

$$\frac{Q^2}{2gA_0^2} + y_0 + a = \frac{Q^2}{2gA^2} + y$$

Pode se escrever:

$$\frac{v_0^2}{2g} + y_0 + a = \frac{Q^2}{2gA^2} + y \quad \text{ou}$$

$$\frac{V_0^2}{2g} + y_0 + a = \frac{Q_0^2}{(gy^2 \operatorname{tg} \theta)} + y$$

Calculando o 1º membro:

$$\frac{V_0^2}{2g} + y_0 + a = \frac{1.10^2}{19.62} + (0.064 + 0.05) = 0.1756$$

$$\text{Chegamos na igualdade: } 0.1756 = \frac{Q_0^2}{(gy^2 \operatorname{tg} \theta)} + y \rightarrow 0.1756 = \frac{(0.094)^2}{9.81y^2 8.14} + y$$

$$\rightarrow 0.1756 = \frac{(0.094)^2}{79.85y^2} + y \rightarrow 0.1756 = \frac{1.10}{y^2} * 10^{-4} + y$$

$$\text{Multiplicando por } y^2: [y^2(0.1756 = \frac{1.10(10^{-4})}{y^2} + y)] = 0.1756y^2 = 1.10 * 10^{-4} + y^3$$

Equação do 3º grau:  $-y^3 + 0.1756y^2 - 1.10 * 10^{-4}$  cujo raízes são:

$$y_1 = -0.067$$

$$y_2 = 0.1214 + i0.039$$

$$y_3 = 0.1214 - i0.039$$

Adotamos o valor maior  $y_1=0.067$  (em valor absoluto)

○ **Cálculo da seção de escoamento A**

$$A = \frac{(y^2 \text{tg}\theta)}{2} = \frac{0.067^2 * 8.14}{2} = \mathbf{0.018 \text{ m}^2}$$

○ **Cálculo da velocidade V**

$$V = \frac{Q_0}{A} = \frac{0.094}{0.018} = \mathbf{5.22 \text{ m/s}}$$

○ **Cálculo de F**

$$F = \frac{V^2}{g * y} = \frac{5.22^2}{9.81 * 0.1690} = \mathbf{16.44}$$

○ **Cálculo de M**

$$M = \frac{LF}{a. \text{tg}\theta} = \frac{0.5 * 16.44}{0.05 * 8.14} = \mathbf{20.20}$$

○ **Cálculo do caudal**

$$Q = L(k+C)y_0^{1.5}g^{0.5} = 0.5 \left( 0.2 + \frac{0.45}{1.12^{20.20}} \right) * 0.064^{1.5} * 9.81^{0.5} = \frac{0.0158 \text{ m}^3}{\text{s}} = \mathbf{6.22 \text{ l/s}}$$

○ **Cálculo da eficiência**

$$E = \frac{6.22}{94.61} = \mathbf{6.58\%}$$

➤ O caudal captado representa 1/15 do caudal afluente: a capacidade de escoamento da sarjeta com depressão não é eficiente.

● **Estudo da capacidade de entrada no sumidouro sem depressão**

Referenciando-se a figura do sumidouro sem depressão (vd anexo IX C)

**Dados:**

Dimensões 0.75X0.40m; d=0.03 (distância ao lancil de passeio); barras transversais=3→m=8

$V_0 = 1.10 \text{ m/s}$  ;  $y_0 = 0.064 \text{ m}$  ;  $\theta_0 = 88.62^\circ \rightarrow \text{tg}(\theta_0) = 41.51$  (Cálculos anteriores)

○ **Cálculo de  $q_3$**

$$L_0 = mV_0 \left( \frac{y_0}{g} \right)^{1/2} = 8 * 1.10 \left( \frac{0.064}{9.81} \right)^{0.5} = \mathbf{0.71 \text{ m}}$$

$L = 0.75$  ;  $L_0 = 0.71$  : como  $L > L_0$ ,  $q_3 = 0.0 \text{ l/s}$

○ **Cálculo de  $q_2$**

$$y' = y_0 - \left( \frac{B}{\text{tg}\theta_0} \right) = 0.064 - \frac{0.40}{41.51} = \mathbf{0.054 \text{ m}}$$

$$L' = 1.2 \operatorname{tg} \theta_0 V_0 \left( \frac{y'}{g} \right)^{0.5} = 1.2 * 41.51 * 1.10 \left( \frac{0.054}{9.81} \right)^{0.5} = \mathbf{4.06 \text{ m}}$$

Como  $L' > L$  ( $4.06 > 0.75$ )

$$q_2 = \left[ \frac{(L' - L)}{4} \right] g^{\frac{1}{2}} y'^{\frac{3}{2}} = \left[ \frac{4.06 - 0.75}{4} \right] 9.81^{0.5} 0.054^{1.5} = 0.032 \text{ m}^3/\text{s} = \mathbf{32.5 \text{ l/s}}$$

○ **Cálculo de  $q_1$**

$$q_1 = 6 \left( \frac{V_0^2}{L^2} d^3 \sqrt{\frac{y_0}{g}} \right) = 6 \left( \frac{1.1^2}{0.75^2} * 0.03^3 * \sqrt{\frac{0.064}{9.81}} \right) = \mathbf{0.0281 \text{ l/s}}$$

○ **Cálculo do caudal**

$$Q_{\text{captado}} = Q_{\text{afluente}} - (q_1 + q_2) = 94.61 - (32.5 + 0.0281) = \mathbf{62.07 \text{ l/s}}$$

○ **Eficiência**

$$E = \frac{62.07}{94.61} = 0.65 = \mathbf{65.6\%}$$

➤ O caudal captado representa 2/3 do caudal afluente: a capacidade de escoamento do sumidouro sem depressão é relativamente eficiente.

• **Estudo da capacidade de entrada no sumidouro com depressão**

Referenciando-se a figura do sumidouro com depressão (vd anexo IX D)

Dados:

Depressão de 0.04m

Dimensões 0.75X0.4m; d=0.03 (distância ao lancil de passeio); barras transversais=3→m=8

$V_0 = 1.1 \text{ m/s}$ ;  $y_0 = 0.064 \text{ m}$ ;  $\theta_0 = 88.62^\circ \rightarrow \operatorname{tg}(\theta_0) = 41.51$  (Cálculos anteriores)

○ **Cálculo de  $\theta$**

$$\theta = \arctan \left[ \frac{B}{a + \frac{B}{\tan \theta_0}} \right] \quad \text{Com } B = l + d: l = \text{largura do sumidouro [m]}$$

Aplicando:  $B = (0.4 + 0.03) = \mathbf{0.43 \text{ m}}$

$$\theta = \arctan \left[ \frac{0.43}{0.05 + \frac{0.43}{41.51}} \right] = \arctan(7.16) = 1.432 \text{ rad} = \frac{180}{\pi} * 1.432 \rightarrow \theta = \mathbf{82.09^\circ}$$

$$\rightarrow \tan(\theta) = 7.19$$

○ **Cálculo de  $y'$**

$$y' = y - \left( \frac{B}{\tan \theta} \right) \quad \text{com } y = y_0 + a = (0.064 + 0.05) = \mathbf{0.114 \text{ m}}$$

$$y' = 0.114 - \frac{0.43}{7.19} = \mathbf{0.054 \text{ m}}$$

○ **Cálculo de  $A_0$**

$$A_0 = \frac{B^2}{2 \tan(\theta)} + y' \left[ B + y' \left( \frac{\tan(\theta)}{2} \right) \right] = \frac{0.43^2}{2 * 7.19} + 0.114 \left[ 0.43 + 0.054 \left( \frac{7.19}{2} \right) \right] \\ = \mathbf{0.084 \text{ m}^2}$$

○ **Cálculo de  $V_0$**

$$V_0 = \frac{Q_0}{A_0} = \frac{0.094}{0.084} = \mathbf{1.11 \text{ m/s}}$$

○ **Cálculo de  $q_2$**

$$L' = 1.2 \operatorname{tg} \theta V_0 \left( \frac{y'}{g} \right)^{0.5} = 1.2 * 7.19 * 1.11 * \left( \frac{0.114}{9.81} \right)^{0.5} = \mathbf{1.03 \text{ m}}$$

$$L < L' \rightarrow q_2 \neq 0.0 \text{ l/s}$$

○ **Cálculo de  $q_2$**

$$q_2 = \left[ \frac{(L' - L)}{4} \right] g^{\frac{1}{2}} y'^{\frac{3}{2}} = \left[ \frac{1.03 - 0.75}{4} \right] 9.81^{0.5} 0.054^{1.5} = \mathbf{2.75 \text{ l/s}}$$

○ **Cálculo de  $q_3$**

$$L_0 = m V_0 \left( \frac{y}{g} \right)^{0.5} = 8 * 1.1 * \left( \frac{0.114}{9.81} \right)^{0.5} = \mathbf{0.94 \text{ m}}$$

$$L_0 > L \rightarrow q_3 \neq 0$$

$$q_3 = \left[ \frac{(L_0 - L)}{4} \right] g^{\frac{1}{2}} y'^{\frac{3}{2}} = \left[ \frac{0.94 - 0.75}{4} \right] 9.81^{0.5} 0.054^{1.5} = \mathbf{1.86 \text{ l/s}}$$

○ **Cálculo de  $q_1$**

$$q_1 = 6 \left( \frac{V_0^2}{L^2} d^3 \sqrt{\frac{y}{g}} \right) = 6 \left( \frac{1.1^2}{0.75^2} 0.03^3 \sqrt{\frac{0.114}{9.81}} \right) = \mathbf{0.037 \text{ l/s}}$$

$$Q_{\text{captado}} = Q_{\text{afluente}} - (q_3 + q_1) = 94.61 - (1.86 + 0.037) = \mathbf{92.71 \text{ l/s}}$$

○ **Cálculo da Eficiência**

$$E = \frac{92.71}{94.61} = 0.98 = \mathbf{98\%}$$

O caudal captado representa 99% do caudal afluente: a capacidade de escoamento do sumidouro com depressão é muito eficiente.

No sumidouro com depressão, os caudais são elevados e no caso de estudo, chegamos a um caudal de 92.71 l/s. com uma micro-turbina TG power (vd. Anexo A) produziremos 21.2 kWh/dia ou seja temos 0.883 kWh em cada hora de funcionamento.

**Quantidade da energia produzida durante a estação de chuva**

Supondo 10 h de funcionamento diário:

---

$$0.883 \times 10 = 8.83 \text{ kWh/dia}$$

Aplicando a formula  $E_{AN} = P \times N_h \times C_P$

$$E_{AN} = 8.83 \times 153 \times 0.75 = 1013.3 \text{ kWh/ano}$$

### **Instalação**

Relativamente fácil, desenvolvemos sistemas apresentados nas figuras 4.18 e 4.19, a aplicação de presente sistema necessita obras nas vias de comunicação existentes, pois é indispensável a filtragem da água logo dá se para realizar uma transformação do órgão de recolha juntando a segunda caixa de área dentro da qual esta colocado o cesto de retenção.

Na realização das vias de comunicação novas a tarefa torna-se fácil e consistirá a colocar nos pontos de interesse um kit já preparado pelo efeito e constituído das duas caixas de área com cesto de retenção como se vê nas figuras 4.18 e 4.19.

### **Manutenção**

Como no caso dos prédios a manutenção não exige uma mão-de-obra qualificada e consiste no início da estação de chuva inspecionar o cesto de retenção de facilidade acesso, limpeza da caixa de areia e a recolocação da micro-turbina que foi tirada no final da estação de chuva. Durante toda estação de chuva será necessário inspecionar o cesto de retenção para ter a garantia do não entupimento do sistema.

### **5.3. Análise energética**

As precipitações não são constantes de uma região para outra. No quadro 5.1 (vd. Anexo VII) apresenta-se os valores das precipitações em certas zonas de Portugal continental. Nota-se o pico no mês de janeiro. Quanto ao quadro 5.2, (vd. Anexo VIII) apresenta-se dias sem chuva em algumas zonas do país.

A consulta destes quadros permite de afirmar que, ao longo do ano, o sol predomina sobre a chuva daí maior aproveitamento da energia solar em relação a energia da chuva. Mas se consideramos a produção num intervalo dado, por exemplo com duração de 24h, em ambas dos períodos (chuva-Sol) neste caso o sistema de aproveitamento da energia de chuva será mais eficiente.

Tomando a cidade de Viana de Castelo como exemplo (cidade do exemplo do caso de estudo), os mapas indicam para o ano de 2015, 212 dias sem chuva, o que significa que temos nesta cidade pelo menos 153 dias de chuva.

### **Cálculo da energia anual produzida pela micro-turbina**



Aqui a operação torna se muito aleatória pois, apesar de saber a produção diária da micro-turbina, números de dias de chuva e intensidade da precipitação, não disponibilizamos da informação da duração de uma chuvada.

$$E_{AN} = P * N_h * C_p \quad (28)$$

em que:

P: potência da micro-turbina (dada pelo fabricante) [W]

$N_h$ : numero de hora [s]

$C_p$ : coeficiente de perdas [0.75-0.80]

### **Cálculo no Prédio**

Para efeitos de cálculo, fixamos a duração da chuvada a 10h/dia (durante estação de chuva) e com uma micro turbina que gera 800 W calculamos energia diária:

$$E_{dia}=800*10*0.75=6000 \text{ Wh}$$

Multiplicando com o número de dias de chuva (153-Viana de Castelo)

$$E_{An}=6000*153=918\text{kWh/Ano}$$

Nas vias de comunicação, os caudais são superiores aos dos prédios, as micro-turbinas terão potência maior, o tempo de funcionamento será maior pela não existência de um sistema de regulação (caso da válvula de energia potencial no prédio), mas também da continuidade do escoamento da água mesmo depois de chuva parar, daí maior aproveitamento da energia.

### **Cálculo na via de comunicação**

O nosso caso de estudo deu um caudal na via de comunicação de 92 l/s assim podemos escolher uma TG-POWER ver Anexo I, mas o nosso caudal se situa no intervalo de 75 l/s e 100 l/s deste fabricante e por opção, escolhemos o caudal de 75 l/s e um desnível menor de 3 metros, logo o abaco do fabricante indica uma produção de 21.2 kWh/dia ou seja temos 0.883 kWh em cada hora de funcionamento.

Tomando como anteriormente a duração da chuvada a 10 horas teremos então:

$$0.883*10= 8.83 \text{ kWh}$$

Aplicando a fórmula  $E_{AN}=P*N_h*C_p$

$$E_{AN}=8.83*153*0.75= 1013.3 \text{ kWh/ano}$$

## **5.4.Estudo económico-financeiro**

O nosso estudo financeiro está exclusivamente baseado na tecnologia micro-hídrica.

### **Investimento da tecnologia no prédio produção 1000KWh/ano**

#### **1-Sistema de Autoconsumo**

A exigência de uso de vários componentes tornam estas instalações caras, as baterias além dos preços elevados tem uma duração de vida limitada (5-10 anos) mas também implicam problema de manutenção e de espaço. No entanto, a rentabilidade depende do tarifário da eletricidade. Apresentamos no quadro 5.1 um orçamento de um sistema de autoconsumo

Quadro 5. 1. Orçamento sistema autoconsumo

Quantidade	Designação	Preço U. (€)	Preço T.
01	Micro-turbina TH 640-12V	730	730
01	Bateria 12V 250Ah	415.51	415.51
01	Regulador de carga MPPT 12/24	289	289
01	Conversor DC 24/12/-12A	75	75
01	Carregador de Bateria 12/24/48V	124	124
01	Inversor 1000-12/24	200	200
10m	Cabo de turbina 4mm <sup>2</sup>	0.90	9
5m	Cabo de Bateria 16mm <sup>2</sup>	2.94	14.7
01	Válvula pressostatica	100	100
27m	Tubo PVC 90 6kg/cm <sup>2</sup>	3.75	101.25
25	Suportes-abraçadeiras	1.4	35
	Acessórios tubagem	15	
	Montagem	150	
<b>Total sem Iva</b>		<b>€2258.46</b>	

## 2-Sistema ligado a RESP

Os sistemas ligados a rede são de investimento inicial baixo na medida que são isentos de alguns componentes eletrónicos e das baterias, nestes sistemas, o produtor da energia disponibiliza toda a sua produção a rede de energia elétrica. Apresentemos um orçamento de um sistema ligado a rede no quadro 5.2.

Quadro 5. 2. Orçamento sistema ligado a RESP

Quantidade	Designação	Preço U. (€)	Preço T.
01	Micro-turbina TH 640-12V	730	730
01	Inversor 1000-12/24	200	200
10m	Cabo de turbina 4mm <sup>2</sup>	0.90	9
01	Válvula pressostatica	100	100
27m	Tubo PVC 90 6kg/cm <sup>2</sup>	3.75	101.25
25	Suportes-abraçadeiras	1.4	35

	Acessórios tubagem	15	15
	Montagem	150	150
<b>Total sem Iva</b>		<b>€ 1340.25</b>	

### Vida útil dos componentes

Para elaboração do estudo financeiro, um dos parâmetros a determinar é a vida útil do equipamento, usando outros termos, é durabilidade do equipamento. No quadro 5.3 apresenta-se as vidas úteis dos componentes constituintes de nosso sistema

Quadro 5. 3. Vida útil

Micro-turbina	20-25 anos
Bateria	5-10 anos
Componentes eletrônicos	5-10 anos

### Tarifário da energia

O tarifário da compra e da venda da energia está elaborado segundo as políticas energéticas, Um do parâmetro que determina o tarifário é o tipo de produção ou as fontes da produção. A título exemplo, energia elétrica produzida a partir do nuclear é mais barata a compra em comparação a energia elétrica produzida a partir das fontes fósseis. Nos renováveis também existe uma diferenciação em relação a fonte de produção (vd quadro 5.8). Assim para o nosso estudo financeiro apresentamos no quadro 5.4 tarifários da venda e da compra nos critérios explicado nos alíneas (1) e (2)

Quadro 5. 4. Tarifário da eletricidade

Venda (1)	€ 0.106 kWh
Compra (2)	€ 0.2058 kWh

(1) Mini geração, Despacho DGEG de 26 de Dezembro de 2013

(2)Depende da potência contratada, vamos supor que a energia produzida pela micro-turbina está utilizada para iluminação nas zonas comuns do prédio. Por uma potência de 4.6 kVA, o resultado é do simulador de EDP.

### Custos operacionais

Fazem referência as despesas relacionadas com o desenvolvimento das atividades, em outras palavras são as despesas destinadas a manter atividades em condições ótimas, ou para sua melhoria. Neles enquadrem se entre outras a manutenção.

Apresentamos no quadro 5.5 custos operacionais.

Quadro 5. 5. Custos operacionais

Vida útil: 20 anos		
Frequência da manutenção: 5 em 5 anos		
Anos	Sistema ligado a RESP	Autoconsumo
5	Exempto	Exempto
10	€100	€1103.51(1)
15	€100	-
20	€100	-
<b>Totais</b>	<b>€300</b>	<b>€1103.51</b>

(1): Preço otimizado tendo em conta a substituição da bateria e dos componentes eletrónicos no final de 10 anos.

### Receitas e despesas

Em conformidade com os quadros 5.4 e 5.5, apresentamos o resumo das receitas e despesas no quadro 5.6

Quadro 5. 6. Receitas e despesas

Energia produzida: 1000 kWh.ano			
Sistema	Preços/ano		Custos adicionais (Manutenção, assist.Tecnica)
	Venda	Compra	
<b>Autoconsumo</b>	-	€ 205.8	1103.51/20=55.17 €
<b>Ligado a RESP</b>	€ 106	-	300/20= 15€

### Custo do sistema

Tendo em conta os parâmetros acima apresentados, chegamos a calcular o custo total dos sistemas (auto consumo e ligado a rede) os resultados são apresentados no quadro 5.7

Quadro 5. 7. Custo total do sistema ao longo de sua vida útil

Autoconsumo	Sistema ligado a RESP
2258.46+55.17=2313.63 €	1340.25+15=1355.25 €

### Períodos de retorno dos sistemas

Definido como sendo o tempo decorrido entre o investimento inicial e o momento em que o lucro líquido acumulado seja igual ao valor deste investimento.

Apresentamos na figura 5.5 o diagrama para análise do período de retorno do sistema de auto consumo, onde se nota aparição do lucro a partir do 12 ° ano. E na figura 5.6 o diagrama para

análise do período de retorno do sistema ligado rede onde se nota balanço positivo a partir do 13º.

**Nota:** estes períodos de retornos dependem dos parâmetros como já foram apresentados, das políticas energéticas e do desenvolvimento da tecnologia que irá baixar os custos de aquisição dos equipamentos, reduzindo de fato o investimento inicial.

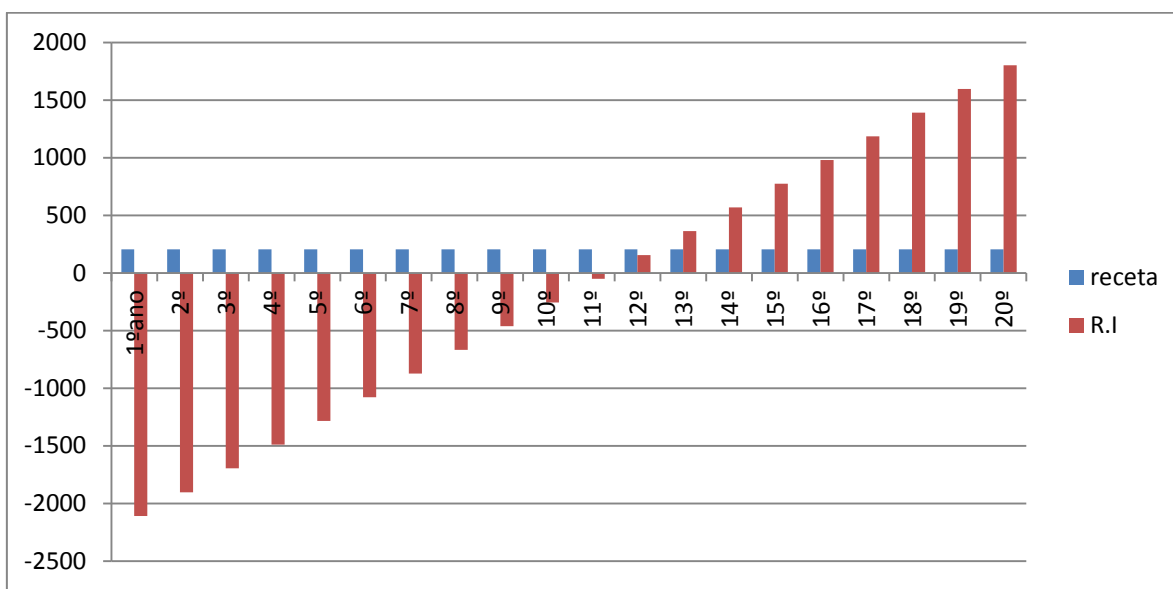


Figura 5. 5. Período de retorno de investimento de um sistema autoconsumo (adaptado de Bindzi. 2016)

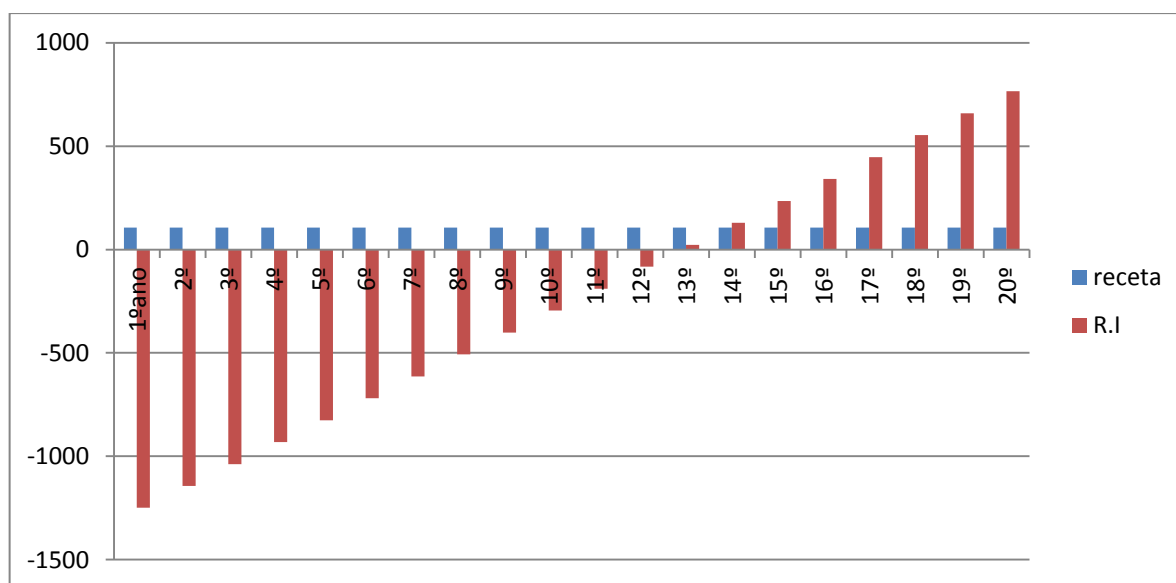


Figura 5. 6. Período de retorno de investimento de um sistema Ligado a RESP (adaptado de Bindzi. 2016)

## Preço da eletricidade

O preço de eletricidade não é estável, a inflação e as leis do mercado, o preço do Brent são, entre outros, os parâmetros que influenciam o preço da eletricidade. Este está em perpétuo crescimento (vd. Figura 5.7)

Ao contrário do tarifário de venda ou do regime bonificado que no início elaborado pelo DL 363/2007, era elevado e que caiu em 2010 com o DL118-A/2010 (vd. Quadro5.8).

E que continuará a sua queda em 2012 e 2013 com as portarias nº 284/2011 de 28 Outubro, 430/2012 e 431/2012. Assim estabelece-se um gráfico que ilustra a evolução dos preços em regime bonificado e a compra de energia a EDP (vd. Figura 5.8)

A análise destes elementos permite de concluir que seria mais rentável de produzir para consumir ao invés de produzir para vender.

Em termos de retorno de investimento, reparamos que os lucros no regime de autoconsumo, aparecem no 12º ano, enquanto os do regime bonificado comecem no 13º ano.

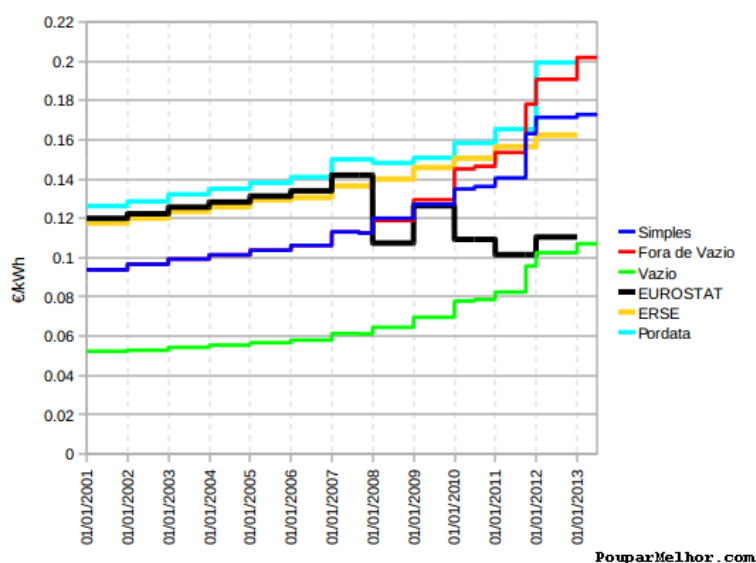


Figura 5. 7. Evolução do preço da eletricidade (adaptado de Poupar melhor, 2016)

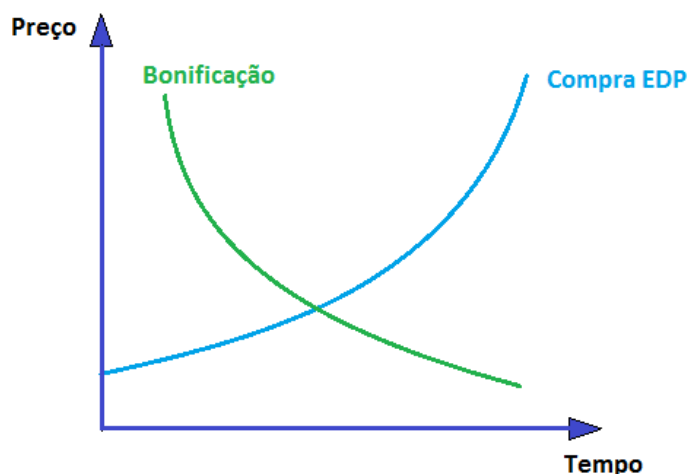


Figura 5. 8. Evolução dos preços da eletricidade e do regime bonificado (adaptado de Bindzi, 2016)

Quadro 5. 8. Queda dos preços regime bonificado de 2007 ) (adaptado de EALT-MESM-ISEC, 2015)

**Novo DL 118 A – 2010 – Microprodução / Microgeração, substitui o DL 363/2007.**

✓ Principais diferenças:

Energia Renovável	DL 363/2007		DL 118 – A /2010	
Tarifa de base	0,65€/kWh (decrece 5%/10MW)		0,40€/kWh (decrece 0,02€/25MW)	
Solar	100%	0,65€/kWh	100%	0,40€/kWh
Eólica	70%	0,455€/kWh	80%	0,32€/kWh
Hídrica	30%	0,195€/kWh	40%	0,16€/kWh
Cogeração a biomassa	30%	0,195€/kWh	70%	0,28€/kWh
Pilhas de combustível	Combinação do mix		Combinação do mix	
Cogeração não renovável	-		40%	0,16€/kWh

### Aquisição da micro-turbina

A tecnologia micro hídrica pluvial sendo um novo conceito, encontra dificuldade na aquisição da micro turbina ou seja a produção deste equipamento não está feita a grande escala. Esperamos com este estudo dar um impulso na produção deste componente o que irá baixar os custos por causa da lei da oferta.

Lembremos que qualquer tecnologia tem custos elevados no início da sua implementação, custos que se reduzem no tempo com desenvolvimento tecnológico e com leis do mercado, a título de exemplo, apresentamos um gráfico sobre a evolução dos custos dos painéis fotovoltaicos (vd. Figura 5.9).

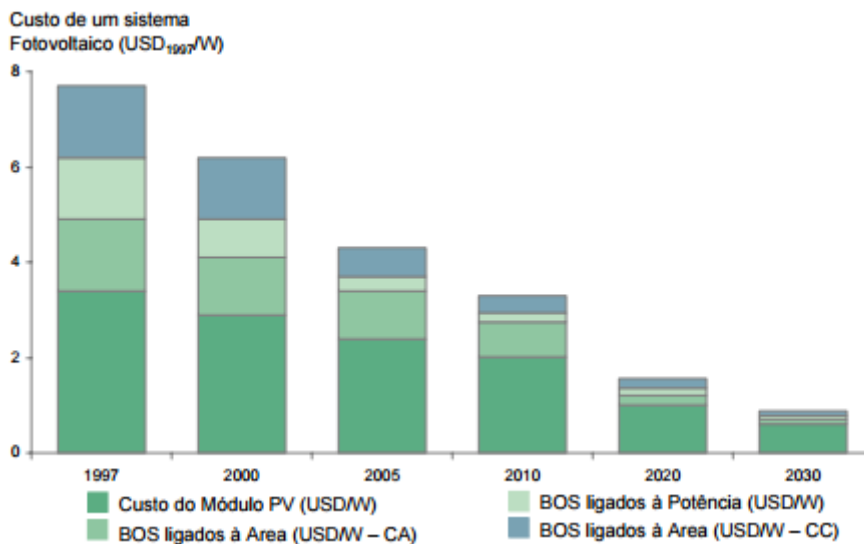


Figura 5. 9. Evolução dos custos de um sistema fotovoltaico (adaptado de EPRI DOE, 2016)

Ainda, a tecnologia dos geradores eólicos, sendo idêntica à dos geradores hidráulicos, podemos sem grande risco estabelecer uma correspondência entre os preços dos geradores eólicos com os hidráulicos, a única diferença será o tipo de turbina usada. Assim, pelas potências até 1000W, os preços dos mini geradores eólicos no mercado variam de 400 a 700 €.



---

## Capítulo 6. Conclusão

A chuva, além da sua contribuição no ciclo hidrológico, apresenta um papel importante na atividade humana; agricultura, pesca, navegação, e é responsável pela rede hidrológica que permite produzir energia em grande escala.

Quer os problemas ambientais, quer a maior parte dos conflitos mundiais estão fortemente associados à posse e ao acesso a fontes de energia. Assim, qualquer discussão em torno do tema da energia envolve obrigatoriamente o delinear de estratégias de promoção das energias renováveis.

Ao longo deste estudo tentou-se demonstrar a existência e a disponibilidade de outra escala da energia hídrica a partir da água da chuva com uma nova aplicação: A tecnologia micro-hídrica pluvial.

O aumento da demografia é acompanhado de questões de mobilidade e de alojamento, entre outras, levando ao desenvolvimento de vias de comunicação e de construção em altura que constituem infraestruturas com áreas ou bacias de recolha de águas pluviais. Assim, o aproveitamento desta energia renovável torna-se uma operação fácil e apelativa. Ainda assim, a tecnologia da construção civil pode ser melhorada, otimizando as áreas de captação nas regiões de elevada pluviometria. Ambos os sistemas estudados são de fácil instalação e manutenção, o que constitui uma grande vantagem.

Nas vias de comunicação, os caudais são maiores mas os problemas ligados a filtragem das águas residuais constituem a principal preocupação. Assim, apresenta-se uma contribuição para a solução desta questão.

Os sistemas híbridos (solar fotovoltaico–micro-hídrica) são os mais vantajosos, pois nos dias de chuva o rendimento do painel fotovoltaico diminui e, deste modo, a compensação virá da produção da micro-turbina que tem um rendimento superior ao do painel solar.

Embora a chuva e as infraestruturas de recolha e de drenagem estejam já disponíveis, o principal obstáculo à disseminação da tecnologia micro-hídrica reside no preço das micro-turbinas, pois trata-se de uma tecnologia que ainda não está suficientemente desenvolvida, mas acho que poderia ser rapidamente explorada, se o presente trabalho conseguir convencer da disponibilidade da energia pluvial.

---

No presente trabalho foi concebida uma válvula de aproveitamento da energia potencial a aplicar na micro-hídrica pluvial nos prédios que permite alargar o aproveitamento da energia potencial na aplicação da piezoelectricidade direta, com a válvula trabalhando em modo “tudo ou nada”. Assim, foi desenhado um contato piezoelétrico a colocar na parte inferior da válvula tornando-a numa válvula de utilização mista. No entanto, os cálculos da produção da energia piezoelétrica efetuados permitem chegar à conclusão que aquela seria sempre uma parcela bastante residual e desinteressante do ponto de vista económico. Ainda assim, a energia aí produzida poderá ser útil, por exemplo, para uma sinalização luminosa ou sonora.

Foi apresentado o orçamento de uma coluna que produz 1000kWh/ano, mas sabendo que num prédio está instalada mais de que uma coluna e sabendo ainda também da disponibilidade de captação no prédio considerado, pode concluir-se que energia produzida no prédio pode ser duplicada, triplicada, podendo atingir os 4000kWh/ano.

Pretende-se, brevemente, passar à implementação prática do sistema, realizando um protótipo de uma instalação nas duas situações estudadas; prédios e via de comunicação.

Poderá também ser interessante o desenvolvimento de uma aplicação informática que a partir da introdução de certos parâmetros como: zona geográfica, altura do prédio, diâmetro do tubo de queda, área de recolha, inclinação longitudinal/transversal, extensão do percurso de escoamento, tipo de estrada, informe como resultado o caudal, a potência a extrair e o tipo e as características da micro-turbina a instalar.

## Referências bibliográficas

A.Virgilio (2014). *Redes de Fluidos* DEM-ISEC

A.Virgilio (2009). *Mecânica dos Fluidos- Redes de Fluidos* DEM-ISEC

Alfeu,João,Joaquim,Nuno, *Hidrologia Urbana-Sistema de drenagem de águas pluviais Urbanas*, Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos-Universidade de Coimbra 2013,170 p.

A.G. de Melo (2000). *A Turbina de Fluxo cruzado (Michell-Banki) como opção para centrais Hidráulicas de pequeno porte*, Programa Interunidades de pós-graduação em Energia PIPGE- Universidade de São Paulo

A.Carvalho (2014).*Energias Alternativas*, DEM-ISEC

Acess Spring(2016). *Software de cálculo das molas on line*, disponível em:

<http://www.acsessspring.com/free-spring-calculator-download.html>

Carlos Matias. *Drenagem em infraestruturas de transportes e hidráulica de Pontes*,2ª edição, Lisboa, LNEC, 2006, 249 p.

Carlos Manuel (2010).*Drenagem Superficial de Vias de Comunicação*, Projeto para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil-Especialização de Vias de comunicação e Transportes, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

Ceap (2015).*Microdrenagem*, disponível em:

<http://www.ceap.br/material/MAT28052014140255.pdf>

Cea (2004).*Principe de fonctionnement de la pile à combustible*, disponível em :

[http://www.alpheia.com/upload/d0a26\\_pile\\_combustible.pdf](http://www.alpheia.com/upload/d0a26_pile_combustible.pdf)

Eduardo João Vindeirinho R. *Sistemas prediais de Drenagem de Águas Pluviais e Freáticas*, dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico

e-LEE (2015). *Sistemas ligados a rede* disponível em: [http://e-lee.ist.utl.pt/realisations/EnergiesRenouvelables/FiliereSolaire/PanneauxPhotovoltaiques/Principes/systeme\\_photovoltaique/connectes.htm](http://e-lee.ist.utl.pt/realisations/EnergiesRenouvelables/FiliereSolaire/PanneauxPhotovoltaiques/Principes/systeme_photovoltaique/connectes.htm)

Energie+(2015). *Le moteur synchrone*, disponível em : <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=11531>

Engquimicasantosp(2014).Energia geotérmica-A Energia do centro da terra, disponível em: <http://www.engquimicasantosp.com.br/2015/05/energia-geotermica-centro-da-terra.html>

EDP(2016).*Simulador de preços*, disponível em: <https://energia.edp.pt/particulares/energia/tarifarios/>

EPRI-DOE, *Electric Power Research Institute*, disponível em: <http://www.epri.com/search/Pages/results.aspx?k=EPRI-DOE%20Handbook%20of%20Energy%20Storage%20for%20Transmission%20and%20Distribution%20Applications>

Ferroflex(2016). *Software de cálculo das molas on line*, disponível em: [https://www.ferroflex.fr/fr/produits/ressorts\\_de\\_compression/calcul.html](https://www.ferroflex.fr/fr/produits/ressorts_de_compression/calcul.html)

Fenix.Tecnico.Ulisboa (2001). *Drenagem Urbana*, disponível em: [fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779572121527/Drenagem%20Urbana%2001\\_85.pdf](fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779572121527/Drenagem%20Urbana%2001_85.pdf)

Francisco (2000).*Dimensionamento Hidrológico e Hidráulico de passagens inferiores Rodovias para Águas pluviais*, dissertação apresentada à Faculdade de ciência e Tecnologia de Universidade de Coimbra para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil-Especialidade de Hidráulica e Recursos Hídricos

Fernandes, C (2002). *MICRODRENAGEM-Um estudo inicial*, DEC/CCT/UFPB, Campina grande.

Grupo Politejo(2016)*Fornecedor tubo e acessórios*, disponivem em: <http://politejo.com/PT/tabelas-de-precos/>

Geografia 7 (2015).*Humidade e os tipos de chuva*, disponível em: <http://www.geografia7.com/conteuacutedos.html>

Gil Marques(2001).*Máquinas síncronas*, disponível em:

<http://www.estgv.ipv.pt/PaginasPessoais/vasco/CEE-CAP%202.pdf>

Giafa(2016). *Fornecedor das micro-turbinas*, disponível em:

<http://www.giafa.com.ar/content/energ%C3%AD-hidr%C3%A1ulica>

Gómez Palacio, Durango (2009). *Modelado del generador síncrono y curva de capacidad*, disponível em: <http://slideplayer.es/slide/157160/>

Hydrosat (2015). *Fabricante das micro-turbinas*, disponível em:

<http://www.hydrosat.net/#!turbinas/c1uey>

Ipma (2015).*Mapa de precipitação diária 1971-2000, Portugal continental*, disponível em:

[https://www.ipma.pt/pt/produtoseservicos/index.jsp?page=map\\_prec\\_7100.xml](https://www.ipma.pt/pt/produtoseservicos/index.jsp?page=map_prec_7100.xml)

J. F. Mendes (2009) *Mecânica dos Fluidos* DEM-ISEC

J. F. Mendes (2014) *Redes de Fluidos* DEM-ISEC

J.Malça (2014). *Energias Alternativas*, DEM-ISEC

João Pedro (2012). *Sistema Prediais não Tradicionais de Drenagem de Água Residuais Pluviais*, Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em engenharia Civil-Especialização em construção, Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto

José A, Joaquim J, *Hidráulica Urbana-Sistemas de Abastecimento de Água e de Drenagem de Águas residuais*, 3ª edição, Coimbra, Imprensa da Universidade de Coimbra, 2011, 449 p.

Lifial(2016).*Fornecedor acessórios tubos*, disponível em: <http://www.lifial.pt/u-docs/lifialcatalogo2015.pdf>

Luis Pestana (2007-2008). *Máquinas Elétricas I-Máquinas Síncronas*, disponível em :

<http://www.estgv.ipv.pt/PaginasPessoais/lpestana/m%C3%A1quinas%20el%C3%A9ctricas%20I/2007-2008/aulas%20te%C3%B3rico-pr%C3%A1ticas/aulas%20M%C3%A1quinas%20El%C3%A9ctricas%20Ib.pdf>

---

Museu das comunicações (2015). *Geradores de corrente alternada*, disponível em:  
[http://macao.communications.museum/por/exhibition/secondfloor/moreinfo/2\\_4\\_1\\_ACGenerator.html](http://macao.communications.museum/por/exhibition/secondfloor/moreinfo/2_4_1_ACGenerator.html)

Meteorologia e Columbofilia (2015). *Climatologia de Portugal continental*, disponível em:  
<http://www.fpcolumbofilia.pt/meteo/main0613.htm>

Micro pelton turbine (2016). *Aliexpress, site venda on line*, disponível em:  
<http://fr.aliexpress.com/item/Micro-Pelton-turbine/1836405597.html?spm=2114.44010208.2.65.pmm0yA>

Portal energia (2015). *Componentes e aplicações de um sistema Micro Eólico*. Disponível em : <http://www.portal-energia.com/componentes-e-aplicacoes-de-um-sistema-micro-eolico/>

Politica Energética: *Princípios gerais* Disponível em:  
[http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/pt/displayFtu.html?ftuId=FTU\\_5.7.1.html](http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/pt/displayFtu.html?ftuId=FTU_5.7.1.html)

Portal energia (2015). *Principais tipos de células fotovoltaicas* disponível em:  
<http://www.portal-energia.com/principais-tipos-de-celulas-fotovoltaicas-constituintes-de-paineis-solares/>

Portada(2015). *Base de dados Portugal contemporânea*, disponível em:  
<https://www.pordata.pt/Portugal/N%C3%BAmero+de+dias+sem+chuva-1071>

Phocos(2016). *Fabricante das Micro-turbinas*, disponível em: [http://www.phocos.com/pt-BR/datasheet\\_pg\\_mt.html](http://www.phocos.com/pt-BR/datasheet_pg_mt.html)

PVGIS(2016). *software dados solar*, disponível em:  
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=fr&map=europe>

Poupar melhor (2016). *Preço de Eletricidade 2001-2013*, disponível em:  
<http://www.pouparmelhor.com/noticias/precos-da-electricidade-2001-2013/>

Rui Castro (2002). *Energia Renováveis e produção descentralizada-Introdução à Energia mini –Hídrica*, Instituto Superior Técnico

SHEMA (2010). *Dimensionnement des Turbines*, disponível em :  
<http://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr/sti/files/ressources/techniques/767/767-dimensionnement-des-turbines.pdf>

---

Site de présentation de l'énergie photovoltaïque (2016). *Théorie : Formules de base pour connaître la production d'un panneau ou d'un système photovoltaïque*, disponível em : <http://www.photovoltaique-energie.fr/estimer-la-production-photovoltaique.html>

Solar shop Portugal (2016). *Fornecedor material solar fotovoltaico*, disponível em: [http://www.solarshop.pt/index.php?route=product/search&keyword=contador%20upac&category\\_id=54](http://www.solarshop.pt/index.php?route=product/search&keyword=contador%20upac&category_id=54)

Traxco(2015) *Mini Turbinas Hidráulicas com gerador*, disponível em: <http://www.traxco.es/blog/productos-nuevos/mini-turbina-hidraulica-con-generator>

Tugdual Loyer(2016). *Etude de l'effet piezoelectrique-Un materiau intelligent*

Tubenergy(2016). *Fabricante de micro-turbinas*, disponível em: <http://tubenergy.com/?s=caracteriscas>

Voith (2015). *Siemens hydro power generation*, disponível em: <http://www.vs-hydro.com/>

Wikipedia (2015). *Chuva*, disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Chuva>

WavEC(2015) *Offshore Renewables* disponível em : <http://www.wavec.org/projectos#.Vw34g1QrJdg>





## **Anexos**



## Anexo I: Algunas marcas Micro-turbina

### I-A-Micro turbina TG-POWER

#### Energía Hidráulica



TURBINAS HIDRAULICAS TG-POWER

Fabricación e Instalación de Micro Turbinas Hidráulicas

TURBINAS HIDRAULICAS TG-POWER											
Energía Generada por Día - Según Caudal y Altura - kW.h/día											
Caudal lts/seg	Altura del desnivel en metros										
	1	2	3	4	5	10	15	20	30	50	100
0,5					0,2	0,4	0,6	0,8	1,2	2,1	4,7
1					0,4	0,8	1,2	1,6	2,5	4,1	9,4
2			0,5	0,7	0,8	1,6	2,5	3,3	4,9	9,4	18,8
3		0,5	0,7	1,0	1,2	2,5	3,7	4,9	8,5	14,1	31,8
4	0,33	0,7	1,0	1,3	1,6	3,3	4,9	6,6	11,3	18,8	42,4
5	0,41	0,8	1,2	1,6	2,1	4,1	6,2	9,4	14,1	23,5	58,8
6	0,49	1,0	1,5	2,0	2,5	4,9	8,5	11,3	16,9	31,8	70,6
7	0,58	1,2	1,7	2,3	2,9	5,8	9,9	13,2	19,8	37,1	90,6
8	0,66	1,3	2,0	2,6	3,3	6,6	11,3	15,1	22,6	42,4	103,5
9	0,74	1,5	2,2	3,0	3,7	8,5	12,7	16,9	25,4	52,9	116,5
10	0,82	1,6	2,5	3,3	4,1	9,4	14,1	18,8	31,8	58,8	129,4
15	1,24	2,5	3,7	4,9	6,2	14,1	21,2	31,8	52,9	97,1	211,8
20	1,65	3,3	4,9	6,6	9,4	18,8	31,8	42,4	70,6	141,2	282,4
30	2,47	4,9	7,4	11,3	14,1	31,8	52,9	70,6	116,5	211,8	423,5
50	4,71	9,4	14,1	18,8	23,5	58,8	97,1	141,2	211,8	352,9	764,7
75	7,06	14,1	21,2	28,3	39,7	97,1	158,8	211,8	317,6	529,4	1.147,1
100	10,59	21,2	31,8	47,1	58,8	141,2	211,8	282,4	423,5	764,7	1.529,4
200	21,18	42,4	77,6	103,5	141,2	282,4	423,5	611,8	917,6	1.529,4	3.294,1

## I-B-Micro-turbina TH-640

# TH-640



- Turbina hidráulica para instalación interpuesta en una tubería con diámetro a partir de 2".
- Fácil instalación.
- Potencia eléctrica desde 100 a 1.200 vatios.
- Bajo mantenimiento (Cada 2 años o 5.000 horas de trabajo).
- Funcionamiento silencioso.
- Autoadaptable para carga de sistemas de baterías con rangos desde 12 a 48 voltios.

**Parámetros operativos:**

	12V	24V	48V
<b>Presión hidráulica (bar)</b>	[0.8 - 8.0]		
<b>Rango de caudal (l/s)</b>	[5.0 - 12.0]		
<b>Tensión eléctrica (Vcc)</b>	12	24	48
<b>Potencia eléctrica (Nominal / Máx.) (kWcc)</b>	0.5/0.8	0.8/1.2	1.5
<b>Conexión hidráulica</b>	BSP 2" Macho		
<b>Conexión eléctrica (sección cable mm<sup>2</sup>)</b>	25	16	10

## I-C-Micro-turbina Pelton



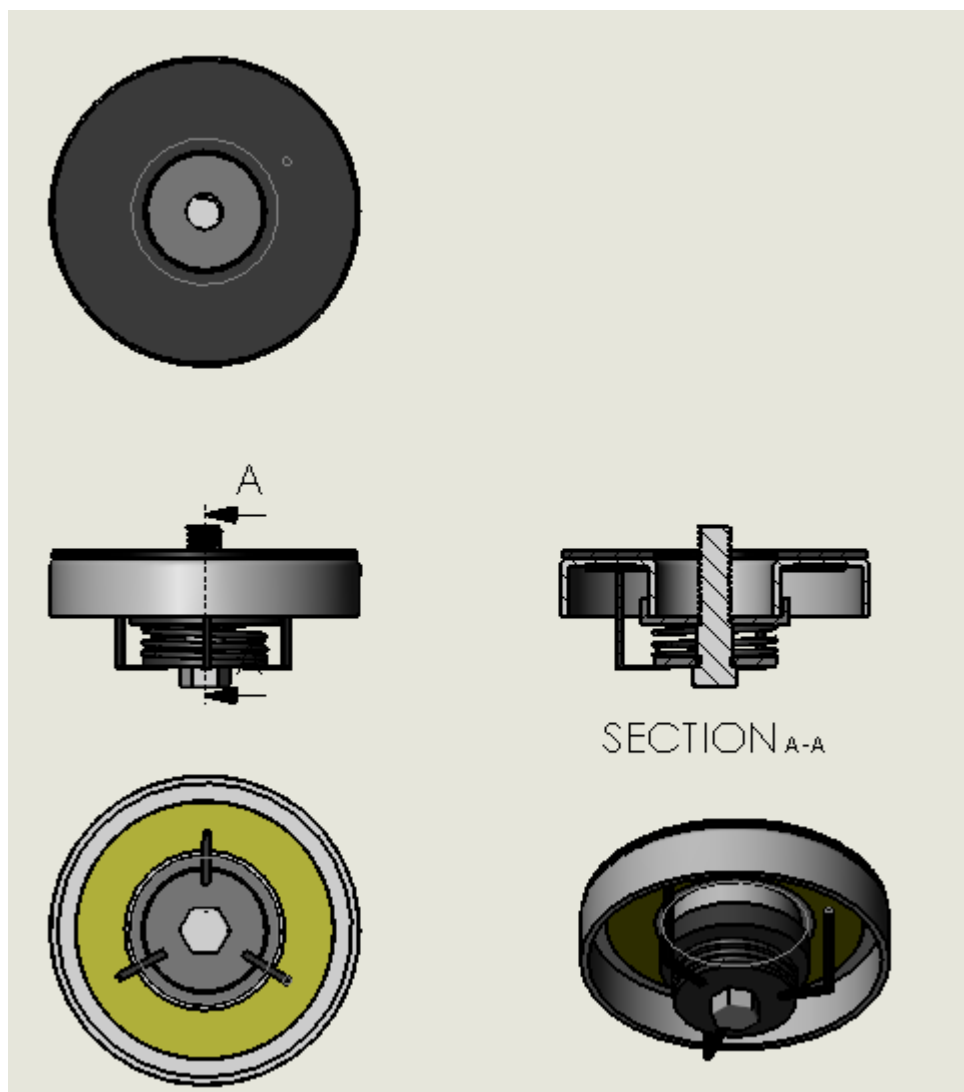
Données techniques de Micro pelton turbine :

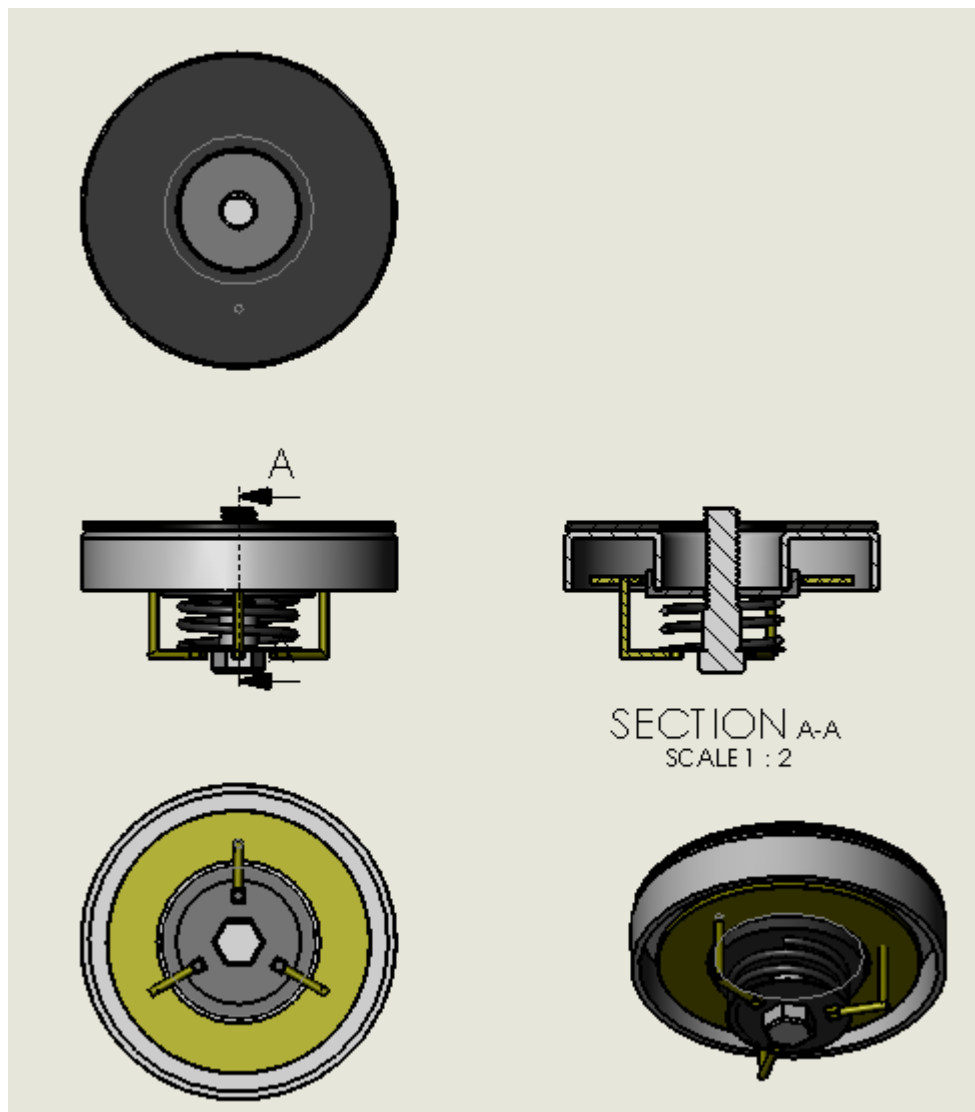
### Données techniques de Micro pelton turbine :

Technical Parameters								
Generator Shell Material	Iron Casting							
Generator Stator Wire	Copper Wire							
Water turbine								
Power Output (w)	300W	500W	600W	1000W	1500W	2000W	3000W	5000W
Water Head (m)	6-12	6-15	8-20	10-20	15-20	15-25	15-30	20-50
Rated Flow(m3/s)	0.006	0.007	0.008	0.012	0.015	0.02	0.025	0.035
Nozzle Diameter(cm)	1.8	1.8	2.0	2.6	2.6	3.0	3.0	5.0
Pipe Diameter(cm)	8	8	8	9	9	10	10	15
Generator								
Type	Brushless/Permanent magnet					Brushless/Excitation		
Power Output (w)	300	500	600	1000	1500	2000	3000	5000
Voltage(V)	220V AC	220V AC	220V AC	220V AC	220V AC	220V AC	220V AC	220V AC
Current(A)	1.36	2.27	2.73	4.55	6.82	9.09	13.64	22.73
Frequency(HZ)	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60
Rotary Speed(RPM)	500-1500	500-1500	500-1500	500-1500	500-1500	500-1500	500-1500	1000-1500
Phase	single	single	single	single	single	single	single	single
N.W(KG)	15	17	19	26	31	47	58	120
G.W(KG)	20	22	25	35	40	50	65	140
Packing	Length(cm)	40	40	40	40	46	49	66
	Width(cm)	31	31	31	35	35	40	60
	Height(cm)	31	33	37	43	43	46	76
Volume(m³)	0.038	0.04	0.046	0.06	0.06	0.085	0.1	0.3

## Anexo II: Contato da válvula piezoelétrica

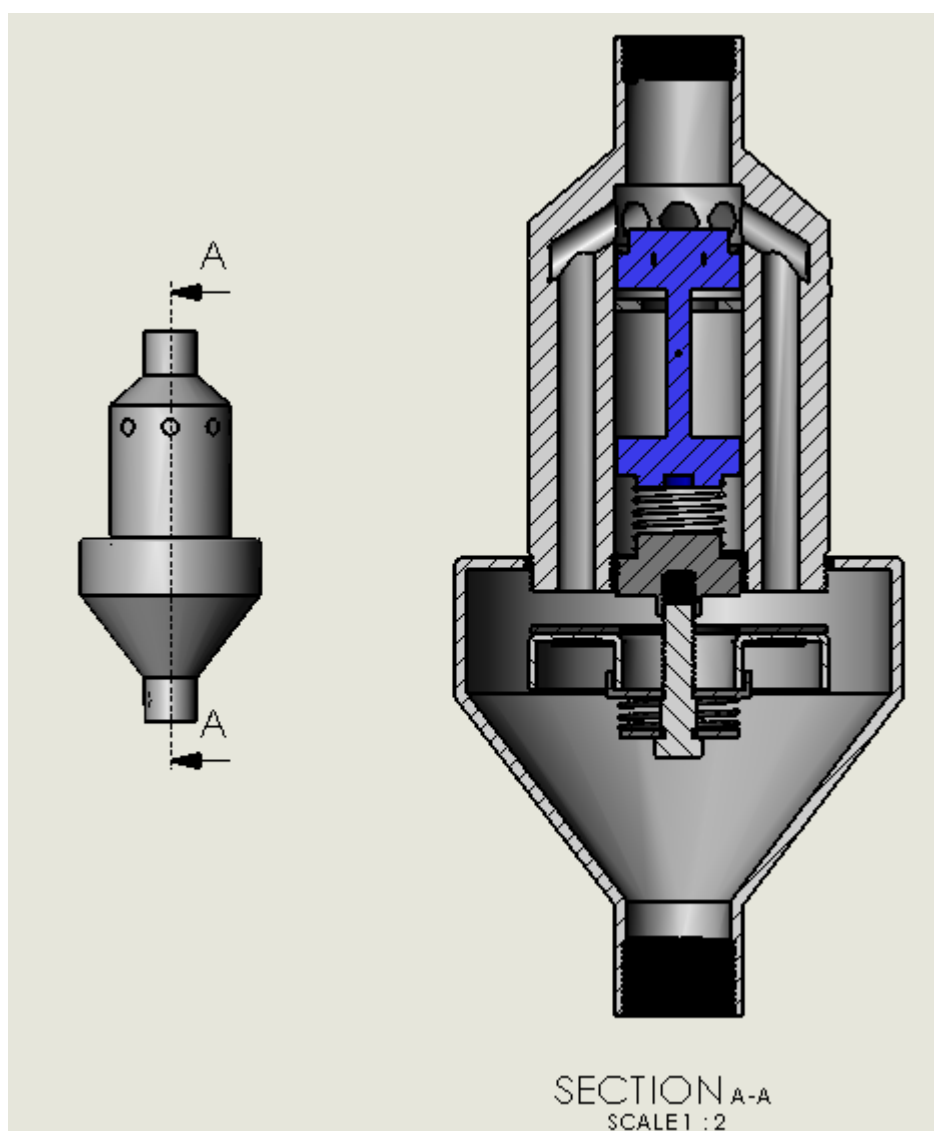
### II-A-Contato da válvula piezoelétrica em trabalho

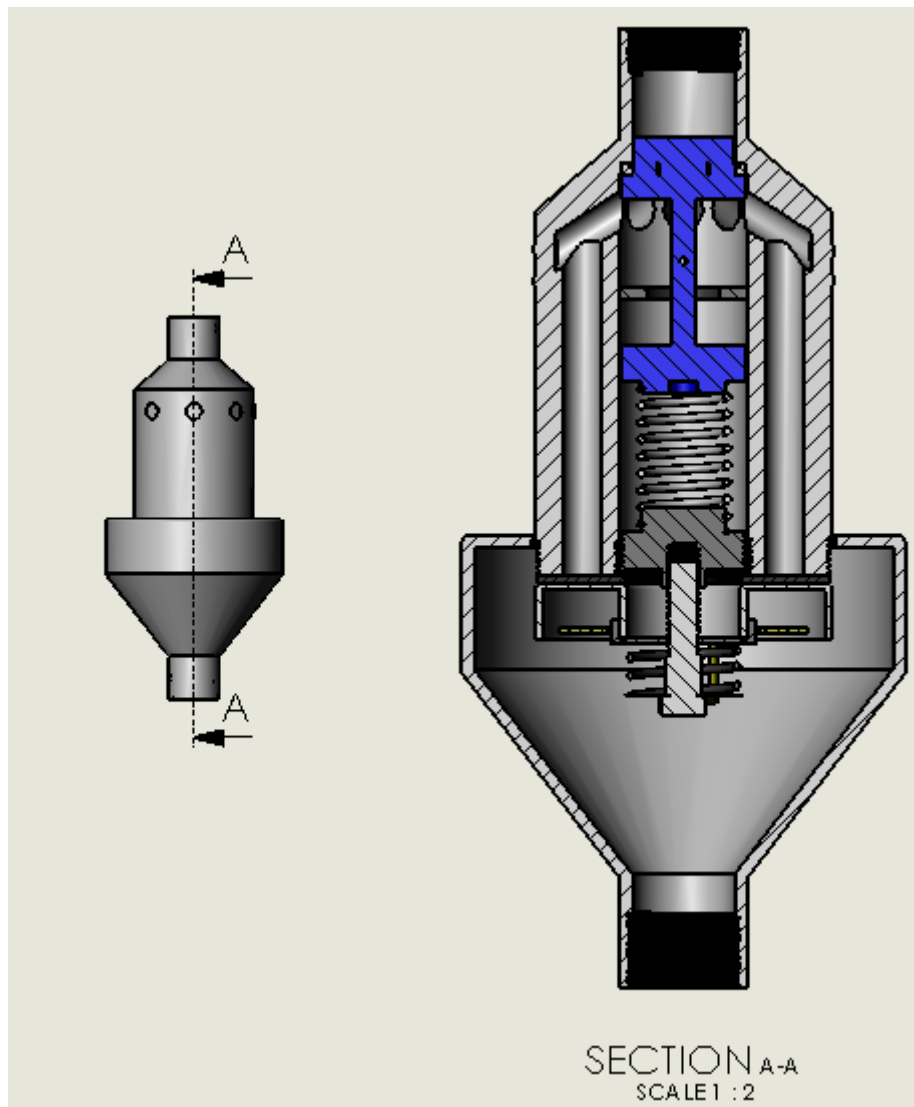


**II-B-Contato Válvula piezoelétrica em repouso**

### Anexo III: Válvula piezoelétrica

#### III-A-Válvula piezoelétrica em trabalho



**III-B-Válvula piezoelétrica em repouso**



## Anexo IV: Constantes de materiais piezoelétricos mais utilizados

Properties	Symbol & unit	NCE40	NCE41	NCE46	NCE51 NCE51f	NCE53	NCE55	NCE56	NCE57	NCE59	NCE80	NCE81
DIELECTRIC PROPERTIES (tolerances +/- 10 %)												
Relative Dielectric Constant	$\epsilon_{T_{33}}^*$ $\epsilon_0$	1250	1350	1300	1900	1600	5000	2900	1800	2900	1100	1020
Dielectric Loss Factor	$\tan \delta$ [10 <sup>-4</sup> ]	25	40	30	150	130	220	140	170	190	26	17
Dielectric Loss Factor at 400V/mm	$\tan \delta$ [10 <sup>-4</sup> ]	140	200								80	60
ELECTROMECHANICAL PROPERTIES (tolerances +/- 5 %)												
Coupling Factors**	$k_p$	0.58	0.57	0.57	0.65	0.56	0.62	0.64	0.59	0.64	0.56	0.55
	$k_{31}$	0.34	0.33	0.33	0.38	0.32	0.39	0.37	0.33	0.37	0.31	0.30
	$k_{33}$	0.70	0.68	0.68	0.74	0.65	0.72	0.74	0.70	0.75	0.69	0.69
	$k_t$	0.50	0.50	0.47	0.50	0.47	0.50	0.50	0.47	0.52	0.47	0.47
Piezoelectric Charge Constants	$-d_{31}$ [10 <sup>-12</sup> C/N]	140	130	130	195	150	260	250	170	240	110	100
	$d_{33}$ [10 <sup>-12</sup> C/N]	320	310	290	443	360	670	580	425	575	270	255
Piezoelectric Voltage Constants	$-g_{31}$ [10 <sup>-3</sup> Vm/N]	11	11	11	13	9	9	9	11	10	11	11
	$g_{33}$ [10 <sup>-3</sup> Vm/N]	27	25	28	26	23	19	20	27	23	28	28
Frequency Constants	$NE_p$ [m/s]	2160	2280	2230	1925	2180	1970	2000	2010	1970	2300	2320
	$ND_t$ [m/s]	1980	2000	2040	2000	2040	1990	2030	1950	1960	2130	2130
	$NE_1$ [m/s]	1470	1600	1500	1370			1530	1400	1410	1630	1630
	$ND_3$ [m/s]	1340	1500	1800	1320			1400	1500	1500	1500	1500
PHYSICAL PROPERTIES (tolerances +/- 5 %)												
Mechanical Quality Factor	$Q_m$	700	1400	>1000	80	80	70	80	80	90	1200	1400
Density	$\rho$ [10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup> ]	7.75	7.90	7.70	7.85	7.60	8.00	7.65	7.70	7.45	7.73	7.73
Elastic Compliances	$s_{11}^E$ [10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /N]	13	13	13	16	16	17	18	17	17	16	16
	$s_{33}^E$ [10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /N]	17	16	20	19	18	21	20	23	23	17	17
Curie Temperature	$T_c$ [°C]	318	284	330	360	340	159	242	350	235	307	307

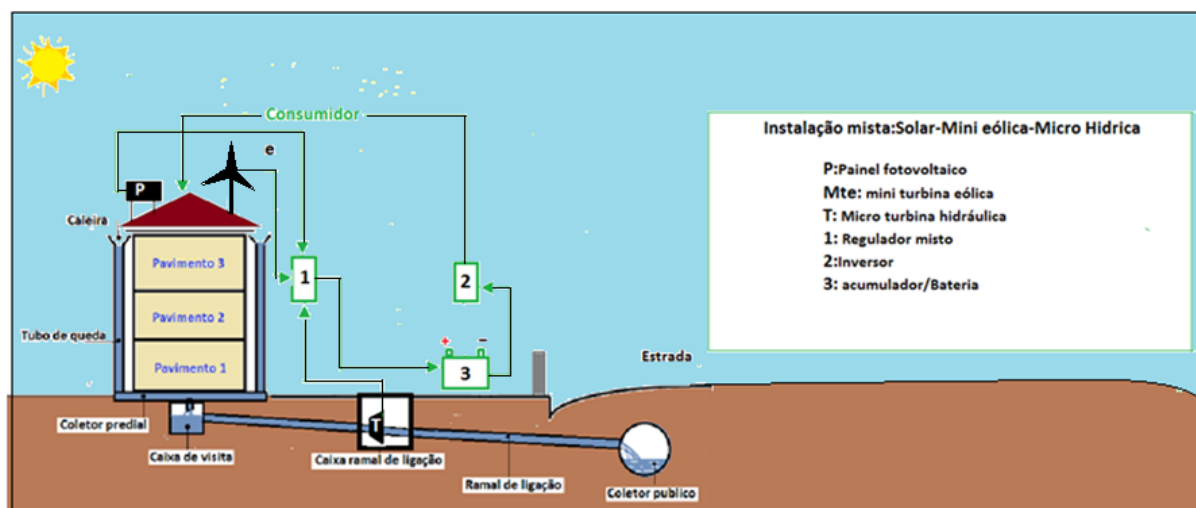
\*) For multilayer components only.

\*\*) Measured in accordance with standard EN 50324.

## Anexo V: Sistemas de acoplamento da micro hídrica com outros renováveis

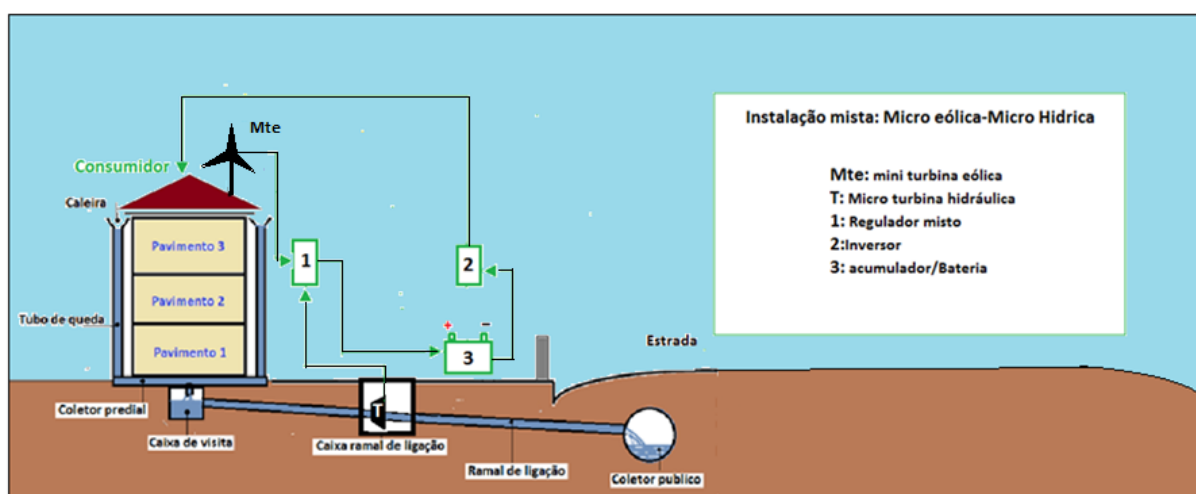
### Sistema 1: instalação mista Solar fotovoltaica- Mini eólica-Micro hídrica pluvial

Instalação aproveitando da energia do Sol, do vento, e da chuva a qual atribuímos o nome SWR (Sun Wind Rain)



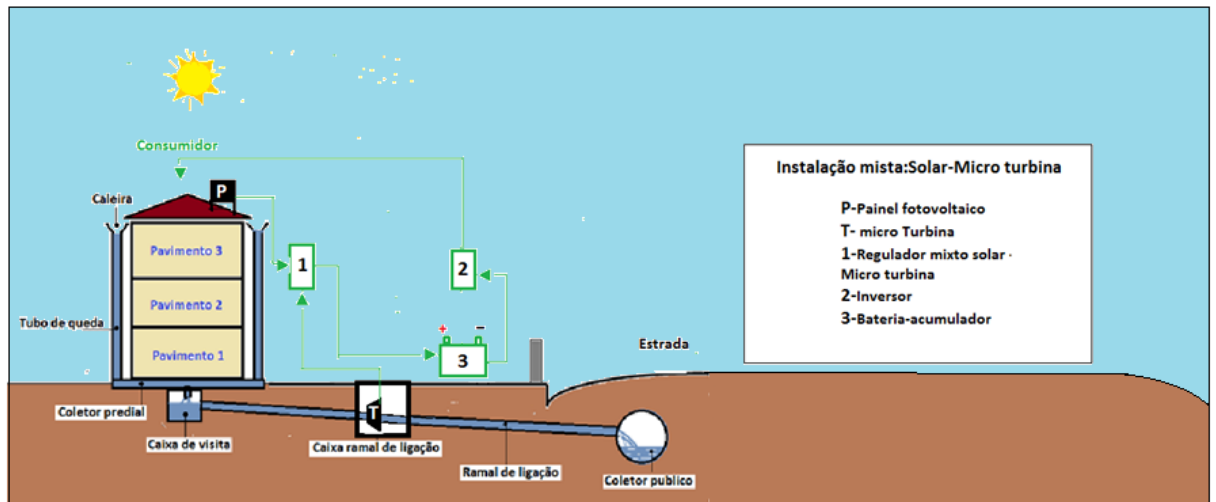
### Sistema 2: Instalação mista Mini eólica-Micro hídrica pluvial

Instalação aproveitando das energias do vento e da chuva a qual demos o nome de Wind Rain (WR)

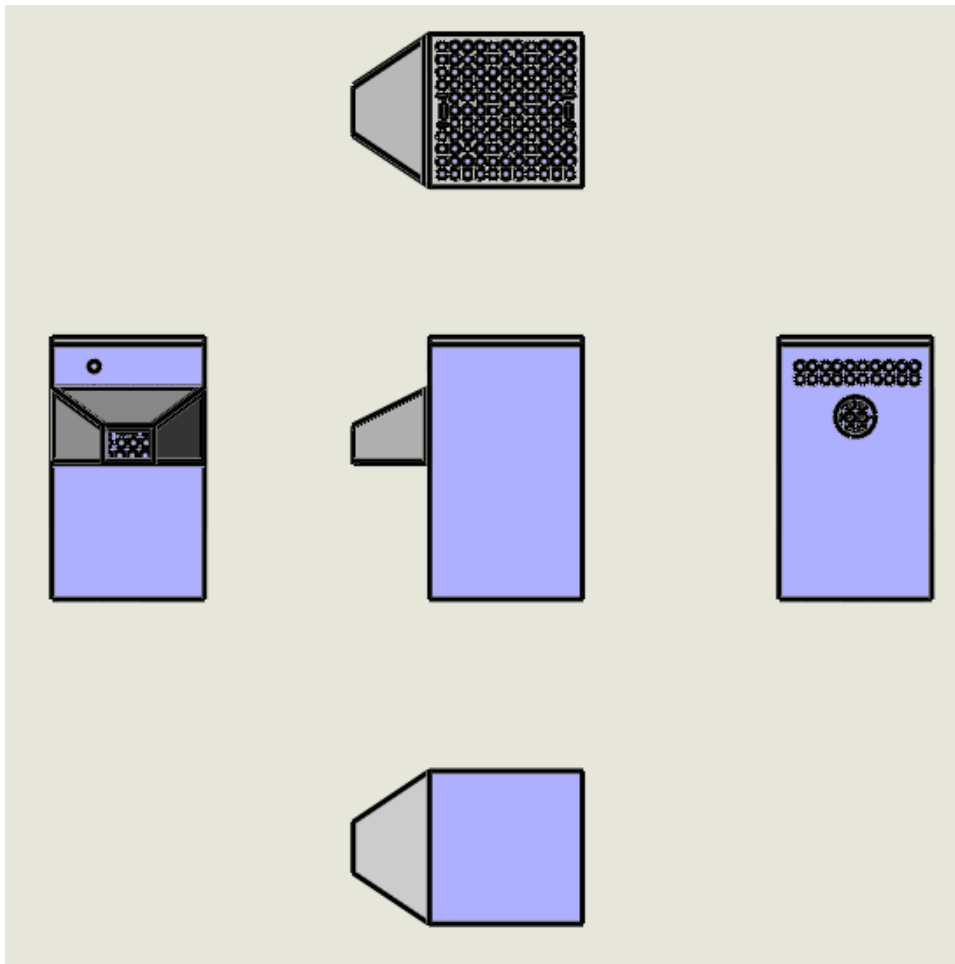


### Sistema 3: Instalação mista solar fotovoltaico-Micro hídrica pluvial

Instalação aproveitando das energias do Sol e da chuva a qual demos o nome de Sun Rain (SR)



---

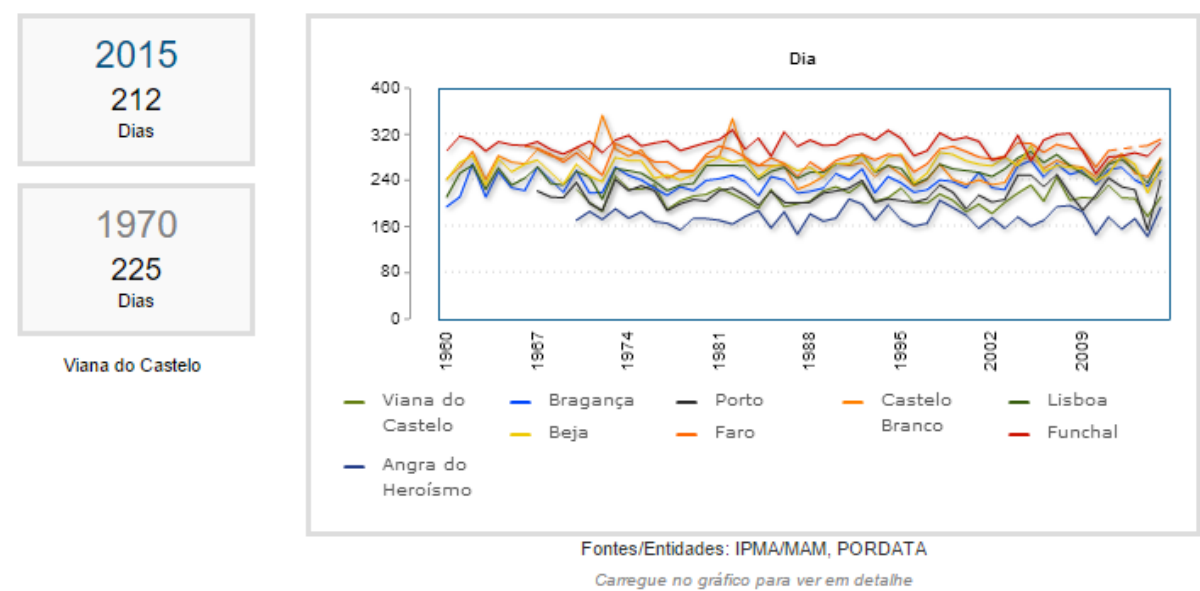
**Anexo VI: Cesto de retenção para sistema em via de comunicação**

**Anexo VII: Repartição das precipitações em certas zonas do Portugal continental**

(adaptado de Meteorologia e Columbofilia)

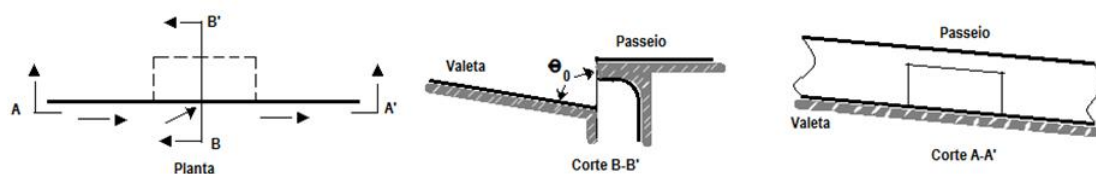
Local	Altitude	Coordenadas	Ano (mm)	Janeiro(mm)	Julho(mm)
Gerês	430 m	41º 44' N - 08º 10'W	2908,8	450,5	50,9
Barca de Alva	130 m	41º 02' N - 06º 57'W	385,2	48,3	8,3
Santiago do Cacém	228 m	38º 01' N - 08º 40'W	717,5	111,2	2,4
Lagos	12 m	31º 06' N - 08º 40'W	435,2	62,9	1,4

**Anexo VIII: Diagrama dos dias sem chuva em Portugal** (adaptado de Portada 2015)

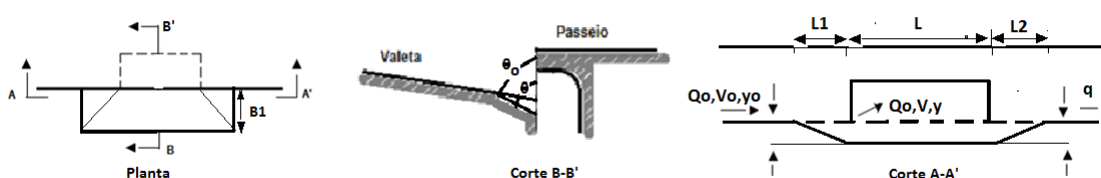


## Anexo IX

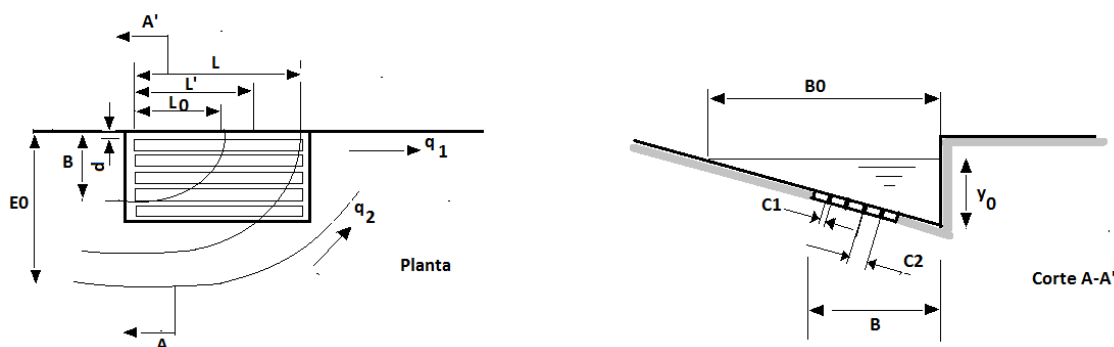
### IX-A-Sarja sem depressão



### IX-B-Sarjeta com depressão



### IX-C-Sumidouro sem depressão



### IX-D-Sumidouro com depressão

